



UNIVERSIDADE DO MINDELO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E RECURSOS DO MAR

CURSO DE LICENCIATURA em ENGENHARIA EM ENERGIAS RENOVÁVEIS

RELATÓRIO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
ANO LETIVO 2017/2018 – 4º ANO

**Tema: Aquecimento de água sanitária através de energia solar
térmica: caso de estudo - Internato de Porto Novo**

Autor: Helder Ferreira Baptista, N.º 3110

Orientador: Doutor José Pedro de Barros Duarte Fonseca

Coordenação: João Dias, Ph.D

Mindelo, 2018



Helder Ferreira Baptista

ÁGUA QUENTE SANITÁRIA ATRAVÉS DE ENERGIA SOLAR
TÉRMICA
ESTUDO DE CASO: INTERNATO DE PORTO NOVO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a
Universidade do Mindelo como parte dos
requisitos para obtenção do grau de licenciatura
em Engenharia Em Energias Renováveis.

Orientador:

Doutor José Pedro de Barros Duarte Fonseca

Mindelo, 2018

Dedico este trabalho a duas pessoas que de tudo fez e continuam a fazer para que posso realizar os meus sonhos, Eugénio Baptista e Maria Baptista os mais merecedores desta dedicação.

AGRADECIMENTOS

A vida é feita de realizações, de luta e de muito esforço, sendo esta realização uma das mais importantes na minha vida até esse momento então queria agradecer primeiramente a Deus por mais essa vitória.

De igual modo, agradeço aos meus pais, Eugénio Baptista e Maria Baptista, que incansavelmente lutaram e apoiaram-me em todos os momentos (bons e ruins) e não menos importante o apoio financeira e sim o mais importante que, nunca duvidaram que seria capaz de realizar este sonho. Também queria agradecer muito sinceramente aos meus irmãos por todo o apoio, e que sem este apoio era impossível a materialização deste sonho.

Agradeço também ao meu orientador José Pedro de Barros Duarte Fonseca, que de tudo fez para a realização deste trabalho e que estava sempre disponível para me guiar rumo ao sucesso desse trabalho.

Agradeço imenso ao Senhor Antúnio Barbosa que me ajudou muito no caso de estudo, e se não fosse ele seria quase impossível fazer o dimensionamento através do *software* RETScreen.

Queria agradecer todas as pessoas que me ajudaram nesse trajeto nome por nome, mas seria muitas e correria o risco de não mencionar alguém portanto quero agradecer de uma forma geral toda a minha família, amigos e todas as pessoas que de uma forma ou de outra me ajudaram nesse trajeto árduo, mas gratificante!

Finalmente agradeço a todos os meus docentes e colegas que estiveram do meu lado durante todo o meu percurso académico, dos quais já mais serão esquecidos!

“A natureza usa a energia solar a milhares de anos, e bem usada, só a raça humana ainda não conseguiu, usar em toda sua possibilidade.”

Cello Vieira

SUMÁRIO

RESUMO	XIII
Lista de abreviaturas	XV
1. INTRODUÇÃO	16
1.1. Contextualização	16
1.2. Motivação	17
1.3. Objetivos	18
1.3.1. Objetivos gerais	18
1.3.2. Objetivos específicos	18
1.4. Contribuições Esperadas	18
1.5. Metodologia	19
1.6. Estrutura do trabalho	19
2. CARACTERIZAÇÃO DO RECURSO SOLAR	21
2.1. O Sol	21
2.2. Radiação solar incidente na superfície terrestre	23
2.3. Movimento solar aparente	23
2.4. O recurso solar em Cabo Verde	25
3. ENERGIA SOLAR TÉRMICA	27
3.1. Evolução do solar térmico	27
3.2. Conversão de energia solar em energia térmica	29
3.3. Áreas de utilização de energia solar	30
3.4. Caracterização de um sistema solar	31
3.5. Circuito solar	32
3.5.1. Tubagem	33
3.5.2. Fluido de transferência térmica	33
3.5.3. Circulação do fluido de transferência térmica	35
3.5.4. Princípio de ligação entre sistemas de coletores	38
3.5.5. Permutador de calor solar (transferência de calor unitária)	40
3.5.6. Tanque de armazenamento	43

3.5.7. Bombas de circulação	44
3.5.8. Controladores	45
3.6. Coletor solar	46
3.6.1. Coletores Estacionários	48
3.6.1.1. Coletor Plano	48
3.6.1.2. Coletores de tubos evacuados	49
3.6.1.3. Coletor Parabólico Composto (CPC)	51
3.6.2. Coletores dotados de sistemas de rastreamento da posição do sol	52
3.6.2.1. Lentes Fresnel	54
3.6.2.2. Coletor concentrador parabólico (Calha parabólica)	55
3.6.2.3. Discos parabólicos	56
3.6.2.4. Campo de coletores helióstatos	58
4. ESTUDO DE UM COLETOR SOLAR PLANO	60
4.1. Descrição de coletores solares de placa plana:	60
4.2. Análise térmica dos coletores planos	62
4.2.1. Radiação solar absorvida	62
4.2.2. Perdas térmicas	64
5. POLÍTICAS E METAS PARA AS ENERGIAS RENOVÁVEIS EM CABO VERDE (SOLAR TÉRMICA).	67
5.1. Política Energética em Cabo Verde	67
5.2. Aplicações de energias renováveis no setor residencial	69
6. TÉCNICAS DE DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA SOLAR TÉRMICO ...	71
7. CASO DE ESTUDO: INTERNATO DE PORTO NOVO	75
7.1. Caracterização do IPN	75
7.2. Aspetos técnicos	76
7.3. Dimensionamento com RETScreen	76
7.4. Resultados e Discussão	78
7.5. Apresentação do melhor cenário	79
7.6. Análise financeira do projeto	84
Conceitos base da avaliação financeira de projeto	84
Avaliação financeira do projeto	85

CONCLUSÃO.....	90
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1- Espectro da radiação à superfície da Terra solar que chega	22
Figura 2 - Componentes da radiação	23
Figura 3 - Declinação solar.....	24
Figura 4 - Ilustração do efeito da inclinação do eixo da Terra em relação ao plano da Eclíptica sobre a insolação da superfície terrestre ao longo do ano.	25
Figura 5 - Mapa do recurso solar.....	26
Figura 6 - Esquema de um sistema solar térmico.....	31
Figura 7 - Esquema em termossifão	36
Figura 8 - Esquema de circulação forçada.....	38
Figura 9 - Ligação dos coletores em série.	39
Figura 10 - Ligação em paralela.	40
Figura 11 - Tubo permutador de calor rugoso e Tubo permutador de calor liso.....	41
Figura 12 - Permutador de placas e Permutador de calor tubular	42
Figura 13 - Tipos de tanques de armazenamento.	44
Figura 14 - Bomba de Circulação.....	44
Figura 15 - Controlador da bomba.	45
Figura 16 - Vaso de expansão.....	46
Figura 17 - Coletor plano típico e coletor plano serpentina.	49
Figura 18 - Detalhe coletor tubo evacuado.....	51
Figura 19 - Coletor parabólico composto	52
Figura 20 - Campo Lentes refletores Fresnel	54
Figura 21 - Coletor concentrador parabólico (calha parabólica).....	56
Figura 22 - Coletor disco parabólico	57
Figura 23 - Campo de helióstatos	58
Figura 24 - Secção transversal de um coletor solar de placa plana básico.	61
Figura 25 - Vista explodida de um coletor solar plano.....	61
Figura 26 - Circuito de transferência de calor em um coletor plano (a) condução, convecção e radiação (b) resistência entre as placas (c) considerando uma única resistência.	66

Figura 27 - Pagina inicial de RETScreen	79
Figura 28 - Perfil de consumo e utilização da AQS do IPN.....	81
Figura 29 - Dados técnicos de coletor solar térmico	82
Figura 30 - Comparação entre coletores solares térmicos e aquecedor elétrico.....	83

ÍNDICE DE TABELA

Tabela 1 - Tipos de coletores e temperaturas de operação	48
Tabela 2 - Metas para aquecimento de água com energia solar térmica para 2020 e 2030 ..	70
Tabela 3 - Indicação dos cenários.....	77
Tabela 4 - Resultados dos cenários.....	78
Tabela 5 - Dados climáticos de Ponta do Sol	80
Tabela 6 - Custos do sistema	85
Tabela 7 - Custos periódicos	86
Tabela 8 - Parâmetros financeiros	86
Tabela 9 - Indicadores económicos	87
Tabela 10 - Fluxo de caixa	88

RESUMO

Com os problemas ambientais que são visíveis neste momento, o Governo e toda a sociedade está mais atenta as energias renováveis, visto que, é considerado como a salvação do nosso planeta porque polui muito menos em comparação com as fontes convencionais e é uma energia gratuita.

Com isso, o investimento em energias renováveis para uma minimização dos custos de energia e também para uma redução da poluição torna-se extremamente importante, ainda mais para um país onde não existe recursos petrolíferos. Levando em conta todos esses fatores, o presente trabalho tem como objetivo dimensionar um sistema solar térmico e avaliar financeiramente o impacto do uso dos coletores solares térmicos em detrimento dos aquecedores elétricos.

Este dimensionamento e o seu impacto serão avaliados, especificamente para o Internato de Porto Novo, na ilha de Santo Antão, cuja as características de operação e consumo são bastantes especiais devido há grande diversidade de serviços oferecidos. Com os dados recolhidos no IPN, traçou-se o perfil de consumo do Internato, avaliou-se o impacto em três cenários diferentes (primeiro cenário com 60% de fração solar, segundo cenário com 75% de fração solar e por último o terceiro cenário com 85% de fração solar), daí a escolha de investir em coletores solares térmicos, em vez dos aquecedores elétricos para o aquecimento da água sanitária.

Esta avaliação, foi feita recorrendo-se a um *software* adequado, que analisou a economia gerada para o Internato. Depois de feitos os cenários, analisou-se e escolheu-se o melhor cenário, com base nos indicadores económicos.

Palavras-chaves: energia solar térmica, dimensionamento, avaliação financeira.

ABSTRACT

With the environmental problems that are visible at the moment, the Government and the whole society is more attentive to renewable energies, since it is considered the salvation of our planet because it pollutes much less compared to conventional sources and is a free energy.

With this, the investment in renewable energies to minimize energy costs and also to reduce pollution makes it extremely important even for a country where there are no oil resources. Taking into account all these factors, the present work aims to size a solar thermal system and to evaluate financially the impact of the use of solar thermal collectors to the detriment of electric heaters.

This design and its impact will be evaluated, specifically for the boarding school of Porto Novo, whose operation and consumption characteristics are quite special due to the great diversity of services offered. With the data collected in the IPN, the consumption profile of the boarding school was traced, and the impact in three different scenarios was evaluated, from the choice of investing in solar thermal collectors instead of electric heaters to heat sanitary water.

This was achieved by using an appropriate software that calculate the savings generated for the boarding school. The scenarios were made and the analysis conducted to the best case based on economic indicators.

Keywords: solar thermal energy, sizing, financial evaluation.

Lista de abreviaturas

IPN - Internato de Porto Novo

KWh – Kilowatt hora

MWh - Megawatt-hora

TIR - Taxa interna de rendibilidade

VAL - Valor atualizado líquido

L - Litro

CVE - Escudos Cabo-Verdiano

m² - Metro quadrado

CPC - Coletor Parabólico Composto

AQS - Água Quente Sanitária

CLF - Coletor Linear Fresnel

1. INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização

Com o desenvolvimento das cidades, aumentam também as exigências das pessoas em ter um maior conforto de vida, levando a um crescimento do uso de AQS (água quente sanitária), nas residências familiares, hotéis, hospitais, pensões, balneários dos estádios, residências estudantis, etc. Mas ainda, o sistema mais usado ou maioritariamente usado consiste em aquecedores elétricos, que por sua vez, trazem grandes problemas, tanto financeiros (no pagamento da faturação a empresa distribuidora de energia) como também, ambientais (na queima de combustível fóssil para produção de energia elétrica).

Por estes e por outros motivos, teve-se a necessidade de conter estes problemas com a instalação dos painéis solares térmicos, que têm a mesma funcionalidade dos aquecedores elétricos, diferenciando-se na poluição e no custo porque, uma vez obtido não há qualquer gasto, fazendo uso de uma fonte inesgotável, o sol, para o aquecimento da água.

O sol é uma fonte de energia inesgotável, não poluente e é a responsável pela origem de praticamente de todas as outras fontes de energia.

Segundo Kalogirou (2004), o sol fornece anualmente, para a atmosfera terrestre, $1,5 \times 10^{18}$ kWh de energia. Trata-se de um valor considerável, correspondendo a 10000 vezes o consumo mundial de energia neste período e estima-se que 84 minutos da radiação solar que incide sobre o planeta Terra cobriria a necessidade energética mundial anual.

Com a problemática do aquecimento global, a tecnologia dos painéis solares ganhou uma maior ênfase e, dia-a-dia o uso desta tecnologia está a tornar-se maior com uma tendência para aumentar a procura, não só pelos benefícios que trará ao ambiente, mas também pela poupança na fatura energética. É com base nestes argumentos, que viu-se a

possibilidade de desenvolver um projeto utilizando os coletores solar térmico para produção de água quente.

1.2. Motivação

A primeira motivação para criação deste projeto, foi quando se estudou a unidade curricular de Energia Solar Térmica, em particular, as variedades de coletores solares térmicos e todos os seus prós e contras. Outra motivação foi o crescimento contínuo que se verifica nos dias de hoje do uso da AQS, apesar de maioritariamente ainda se usarem aquecedores elétricos, tornando essa ideia mais viável.

Uma outra grande motivação não menos importante que as acima mencionadas, é a de ser um projeto de uma fonte renovável de energia que trará grandes benefícios económicos e ambientais.

As pessoas cada dia estão a tornar-se mais exigentes quanto à matéria de conforto e claro, querem-no com menor custo possível, mas os aquecedores elétricos até podem disponibiliza-lo, contudo no final do mês, implica uma fatura exorbitante. Já com os coletores solares térmicos temos a mesma possibilidade, mas menos dispendiosa, visto que o sol é gratuito.

Outro fator é que, com as apostas do Governo de Cabo Verde em energias renováveis e por ser uma área em desenvolvimento, irá ter maiores oportunidades de empregos, daí o meu interesse em aprofundar e ampliar os meus conhecimentos sobre estes tipos de assunto.

Com todos estes fatores decidimos, eu e meu orientador, trazer este tema que ainda é de pouco conhecimento na sociedade civil, na tentativa de resolver um problema atual, que é do gasto com o conforto térmico.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo geral

O projeto tem como objetivo geral, dimensionar um sistema de aquecimento de água sanitária com o uso da tecnologia de coletores solares planos e fazer uma análise económica/financeira desse tipo de projeto mostrando assim que a tecnologia em estudo é uma solução para mitigar os problemas ambientais e económicos.

1.3.2. Objetivos específicos

- a) Explicar o princípio de funcionamento dos painéis solares térmicos;
- b) Diferenciar os tipos de painéis e mostrar a área de utilidade de cada um;
- c) Analisar o rendimento dos painéis sobre as condições meteorológicas de Cabo Verde;
- d) Verificar o contributo económico que terá com a utilização desta tecnologia;
- e) Utilizar o *software* RETScreen para dimensionamento.

1.4. Contribuições Esperadas

Com a realização e apresentação deste projeto, desejamos que a sociedade passa a conhecer e reconhecer melhor os painéis solares térmicos na minimização da problemática de emissão de gases de efeito estufa e também na contribuição para uma maior autonomia económica para o país.

1.5. Metodologia

Para a realização deste projeto, foi necessário realizar pesquisas de dados teóricos na internet e de bibliografias para a sua sustentação.

De seguida, passámos ao dimensionamento do sistema, em que o caso de estudo foi realizado no Internato de Porto Novo e, no final do dimensionamento, foram analisados e discutidos os resultados obtidos. Por fim conclui-se o relatório final.

1.6. Estrutura do trabalho

O texto deste projeto está organizado em seis capítulos, em que antes da iniciação dos capítulos, temos a contextualização, a motivação, objetivo geral, objetivos específicos, as contribuições esperadas e a metodologia.

No capítulo 1, fez-se uma caracterização do recurso solar em geral e depois a sua caracterização em Cabo Verde.

No capítulo 2, intitulado “Estado da Arte” apresentou-se uma revisão bibliográfica do tema de aquecimento de água sanitária, descrevendo e comparando os diferentes métodos atualmente usados.

No capítulo 3, fez-se a seleção do tipo de painel a desenvolver. O painel estudado neste trabalho é o coletor solar plano cujas vantagens conduziram à sua escolha como o mais adequado para a aplicação pretendida neste estudo.

No capítulo 4, fez-se um apanhado sobre as políticas e metas para as energias renováveis em Cabo Verde nomeadamente sobre a energia solar térmica.

No capítulo 5, fez-se a demonstração das técnicas de dimensionamento de um sistema solar térmico.

No capítulo 6, designado “estudo de caso” realizou-se um dimensionamento de um sistema solar térmico e, também são apresentados e analisados os resultados obtidos no dimensionamento realizado.

Conclusão, por fim, fez-se as considerações finais, dando algumas opiniões sobre o trabalho dissertado.

2. CARACTERIZAÇÃO DO RECURSO SOLAR

O Sol é um recurso inesgotável e o seu aproveitamento para geração de energia e calor é muito favorável ao ambiente, visto que, vive-se numa era onde a degradação do ambiente já é um fato logo seria inteligente fazer uso deste recurso racionalmente.

Ao decorrer deste capítulo, serão apresentadas definições e características do recurso solar e, também falar-se-á um pouco sobre a radiação em Cabo Verde, de forma a ter uma maior perceção deste recurso, podendo assim tornar um sistema mais eficiente.

2.1. O Sol

Segundo Duffie e Beckman (1991), o sol é uma esfera de matéria gasosa intensamente quente com um diâmetro de $1,39 \times 10^9$ m e, em média, é $1,5 \times 10^{11}$ m maior que a Terra.

Ainda segundo Carvalho, L. *et al* (SD), o sol é a maior fonte de energia disponível que pode ser utilizada no planeta terra. É indispensável para a vida no planeta e é uma energia “limpa”, logo amiga do ambiente.

De acordo com Duarte (2012), o sol é a única energia proveniente do exterior que o planeta terra recebe, sendo este indispensável para a conservação da vida na Terra devido a sua importância nos processos biológicos, físicos e químicos.

Segundo Cruz (2012), em uma distância de 143 milhões de quilómetros afastados da Terra, o Sol emite a radiação através de ondas eletromagnéticas, radiação essa que, uma infinitésima parte chega a superfície terrestre mas com poder suficiente para a sua exploração.

De acordo com Oliveira e Almeida (2003), a quantidade de energia solar que atinge a atmosfera terrestre com a intensidade da ordem de 1373 W/m^2 . Em condições de céu claro e segundo um plano perpendicular este valor reduz-se para valores de cerca de 1000 W/m^2 , junto há superfície terrestre, uma vez que parte dessa energia inicial é absorvida ou refletida pela atmosfera.

Segundo Pereira (2010), devido há excentricidade da órbita terrestre a distância do sol em relação com a terra varia, logo a quantidade de energia que chega à superfície do planeta sofre alterações, daí a sucessão das estações do ano consequentemente a variação anual de temperaturas. Define-se uma grandeza denominada de unidade astronómica $U_a = 1,496 \times 10^8 \text{ km}$, como sendo a distância media entre a terra e o sol.

De acordo com Lebeña e Costa (SD), o sol emite radiação eletromagnética que se decompõe em infravermelho (46%), visível (47%) e ultravioleta (7%).

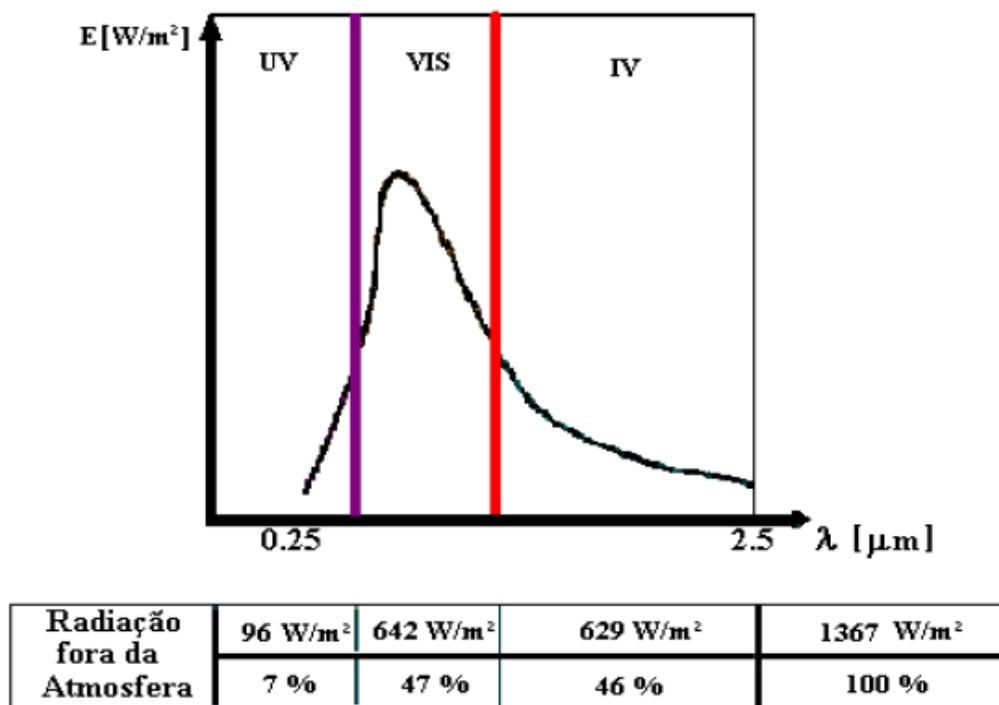


Figura 1- Espectro da radiação à superfície da Terra solar que chega
Fonte: Lebeña, E. e Costa, J., Conversão térmica da energia solar.

2.2. Radiação solar incidente na superfície terrestre

Segundo Miranda (2008), a radiação que atinge a superfície terrestre pode ser decomposta em três componentes:

- Radiação direta: luz solar recebida diretamente do sol através de um raio solar.
- Radiação difusa: luz solar recebida indiretamente, resultante da ação da difração nas nuvens, nevoeiro, poeiras em suspensão e outros obstáculos na atmosfera.
- Radiação refletida: parcela da luz solar proveniente da reflexão dos objetos circundantes com edifícios, solo, etc.

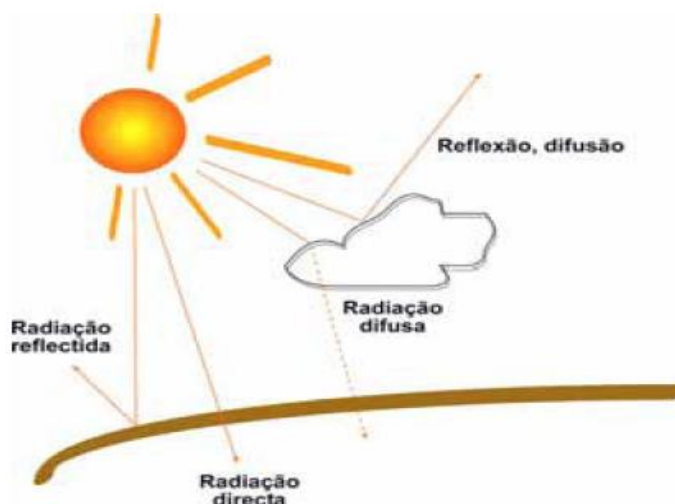


Figura 2 - Componentes da radiação

Fonte: Miranda, M. (2008), Otimização de sistemas solares térmicos, Dissertação de Mestrado, Universidade do Porto.

2.3. Movimento solar aparente

Segundo Lebeña e Costa (SD), a Terra descreve uma órbita elíptica em torno do Sol, rodando sobre si mesma e completa uma rotação em um dia, percorrendo a sua trajetória em um ano e seis (6) horas. De quatro (4) em quatro (4) anos acerta-se o

calendário com um ano bissexto. O plano que conte esta trajetória (e a de todos os planetas) denomina-se plano da eclíptica.

A Terra roda sobre si mesma, completando uma rotação por dia, o eixo de rotação da Terra, denominado eixo polar, é quase perpendicular ao plano da eclíptica, formando um ângulo com a normal ao plano da órbita de valor $23^{\circ} 27'$. Declinação é o ângulo formado entre a direção da radiação e o plano do equador e varia entre $+23^{\circ} 27'$ e $-23^{\circ} 27'$.

Durante os equinócios da primavera (21 de Março) e do outono (22 de Setembro), os dias são iguais às noites porque a declinação solar é nula. O Sol nasce a Este e põe-se a Oeste.

Durante o solstício do verão (23 de Junho) a declinação solar é de $23^{\circ} 27'$, a duração do dia é maior que a da noite e o sol, encontrando-se sobre o Trópico de Câncer, nasce quase a NE e põe-se quase a NW. No solstício do inverno (22 de Dezembro), a declinação é igual mas de valor negativo, o sol encontra-se sobre o Trópico de Capricórnio e a duração do dia é inferior á da noite.

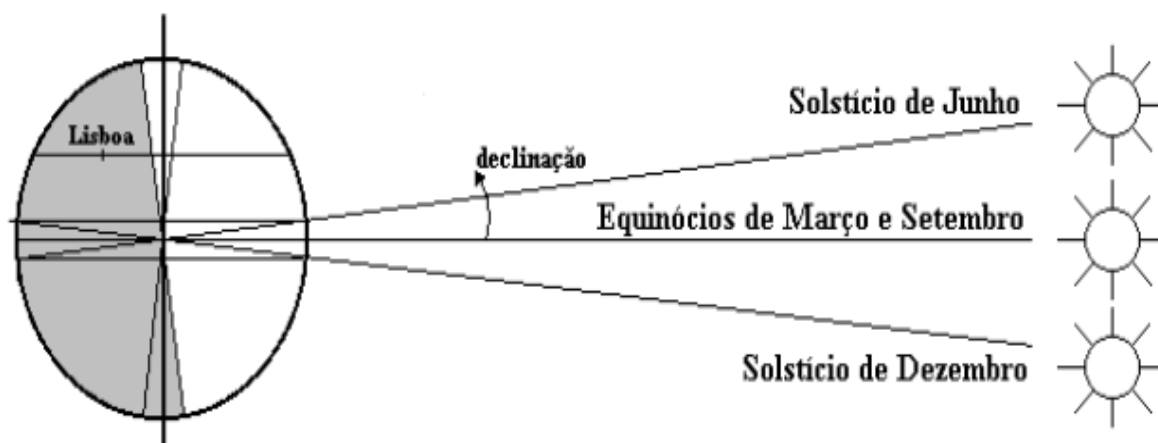


Figura 3 - Declinação solar
Fonte: Lebeña, E. e Costa, J., Conversão térmica da energia solar.



Figura 4 - Ilustração do efeito da inclinação do eixo da Terra em relação ao plano da Eclíptica sobre a insolação da superfície terrestre ao longo do ano.

Fonte: Duarte, P. (2012), coletores solares térmicos-análise de desempenho térmico de soluções tecnológicas no mercado, Dissertação de Mestrado, Universidade do Porto.

2.4. O recurso solar em Cabo Verde

De acordo com o estudo realizado como parte integrante do plano energético renovável de Cabo Verde, verifica-se que Cabo Verde tem um recurso solar abundante. Para uma inclinação e exposição natural do terreno, a média anual de praticamente todo o território apresenta uma radiação global entre os 1800 e os 2200 Kwh/m²/ano.

Na Europa os valores máximos da radiação global em plano horizontal verificados são de 1800 Kwh/m²/ano. Valores estes que são significativamente inferiores as das melhores áreas das ilhas de Cabo Verde, com níveis de radiação global em plano horizontal entre 2070 e 2190 Kwh/m²/ano. Mais de metade de todo o território Cabo-verdiano apresenta um potencial superior a 3750 horas de sol por ano.



Fonte: Plano de ação de Cabo Verde 50% renovável

26

3. ENERGIA SOLAR TÉRMICA

Atualmente na sociedade Cabo-verdiana é mais comum depararmos com o uso da AQS para um maior conforto térmico. Mas no entanto, ainda há uma maior aderência ao sistema de esquentador elétrico, que apesar dos seus custos nas faturas de energia e dos impactes ambientais é o mais conhecido e o mais popular. No entanto, os coletores solares térmicos vêm-se cada dia ganhando um espaço nessa matéria, isto porque, provém de uma energia limpa e que reduz os custos nas faturas elétricas.

Neste capítulo, falar-se-á das tecnologias de conversão da energia da radiação solar em energia de calor e também falaremos de como é armazenado este calor, do circuito de circulação do fluido térmico, da ligação entre os coletores, do sistema de proteção, entre outros.

3.1. Evolução do solar térmico

A energia solar térmica é habitualmente utilizada pelo homem desde a pré-história, ou seja, ações simples como de secar roupas ao sol ou simplesmente aquecer expondo aos raios solar ou até mesmo a de secagem de (folhas, frutos, cereais), são atividades que sempre acompanharam o homem e que fazem parte do solar térmico. Daí é muito difícil identificar quando é que o homem começou a utilizar a energia solar térmica para benefício próprio.

Segundo o *site* [sitiosolar](#), os gregos e os romanos já no século III AC (antes de Cristo) conseguiram iluminar as tochas de rituais religiosos por meio de recipientes de forma parabólica com um interior reflexivo chamado Skaphia grego. Para este efeito, bastava colocar o instrumento à exposição do sol e depois de ser aquecido, colocava a tocha e deixava-a por alguns segundos e acenderia.

Leonardo da Vinci em 1515, iniciou um excelente projeto para a produção de vapor e calor industrial com o calor do sol. A invenção consistia na construção com espelhos côncavos de um grande concentrador de 6 km de diâmetro. Infelizmente, esse foi um dos seus projetos inacabados e só o conhecemos a partir das notas que ele deixou.

Em 1767, um naturalista Suíço Horace de Saussure, avançava um passo fundamental na história da energia solar térmica, quando ele inventou o que ele chamou de "caixa quente". Saussure estava ciente do efeito estufa (que ocorre em qualquer espaço fechado que tenha uma abertura de vidro através da qual, a radiação solar entra) e decidiu maximizá-lo para verificar até onde as temperaturas alcançam no decorrer do processo. Para isso, ele arrumou um gabinete de vidro com o interior pintado de preto. Todas as faces, exceto o vidro, tinham uma camada de isolamento que reteve o calor produzido no interior. O resultado foi que, com sua caixa quente, conseguiu atingir temperaturas de até 109 °C.

Horacio de Saussure inventou o coletor solar que teria um impacto determinante no desenvolvimento da energia solar térmica de baixa temperatura. Através do invento, surgiram todos os desenvolvimentos subsequentes de aquecedores solares de placas planas.

De acordo com Luís Roriz (2010), outra pessoa importante no desenvolvimento da energia solar térmica foi o August Mouchot. No século XIX, Mouchot foi o pioneiro no desenvolvimento do equipamento para a produção de vapor, onde utilizou, a energia solar, desenvolvendo assim, em 1874 um concentrador solar para produzir vapor que acionava uma bomba de irrigação na Argélia.

Em 1883, é utilizada pela primeira vez, um painel parabólico orientável rodando em torno de um eixo vertical desenvolvido pelo John Ericsson.

No início do século XX, são desenvolvidos por Willsie e Boyle Jr., os primeiros coletores solares em vez de espelhos refletores. Tendo o Willsie criado em 1904, a empresa Willsie Sun Power Company que fabricava esses tipos de coletores.

3.2. Conversão de energia solar em energia térmica

De acordo com o documento AEE INTEC (2014), através da interação da radiação solar e a superfície do solo, sucede uma série de processos de conversão natural. A maior parte da radiação solar convertida é encontrada de novo no meio ambiente: ar, solo e águas superficiais são aquecidas pela radiação solar e esses devem ser considerados como fontes de energia renovável.

De acordo com Oliveira e Almeida (2003), a conversão da energia solar, que está disponível sob a forma de radiação solar, em energia térmica, consiste na captação da radiação solar através de coletores onde o calor é transmitido a um fluido de transferência para ser posteriormente utilizado.

Os coletores solares estabelecem a ligação entre a energia proveniente do Sol e os utilizadores de água quente. O calor é gerado pela absorção dos raios solares através de uma placa metálica, a placa absorvora que se comporta como um corpo negro.

Segundo Lebeña e Costa, a propagação do calor pode transmitir-se de três formas distintas:

- **Condução** – requer o contato físico entre dois corpos sólidos a diferentes temperaturas. O corpo com menor temperatura absorve calor até se atingir a temperatura de equilíbrio. Podemos calcular este valor, tendo em conta que, o calor cedido pelo corpo quente é o mesmo que o absorvido pelo frio.
- **Convecção** – implica um movimento do corpo que transporta o calor e é a transferência de calor típica nos fluidos (líquidos ou gasosos) e pode ser natural ou

forçada. Dependerá da velocidade do fluido, da natureza do fluido (densidade, viscosidade, condutividade térmica e do calor específico).

- **Radiação** – é o mecanismo de transmissão de calor entre dois corpos a temperaturas diferentes e não necessita de um suporte físico. É a forma de transferência de calor entre o Sol e a Terra.

3.3. Áreas de utilização de energia solar

De acordo com Miranda (2008), energia solar é um recurso cujo aproveitamento vem desde os primórdios e é este que o torna uma energia bem conhecida e desenvolvida em diversas áreas. Dai a grande vantagem da energia solar reside sobretudo em:

- Utilizações finais diretas;
- Aplicações distribuídas;
- Disponíveis a qualquer local, sobretudo em locais onde outras fontes de energia são escassas ou não estão presentes.

A energia solar pode ser utilizada diretamente para aquecer e iluminar edifícios, aquecer água de piscinas, para fornecimento de água quente sanitária nos sectores doméstico, de serviços, de indústria, de agropecuária, entre outras aplicações.

A energia solar também possibilita a produção de elevadas temperaturas para produção de vapor de processo ou geração de eletricidade, através de tecnologias de concentração da radiação.

As aplicações mais frequentes são:

- Produção de AQS para uso em vivendas, residências, hospitais, hotéis, etc., com necessidades de consumo muito regulares ao longo de todo o ano;
- Aquecimento de piscinas;
- Arrefecimento ambiente;
- Aquecimento ambiente;

- Produção de água a elevadas temperaturas destinada ao uso industrial por concentração dos raios solares em coletores parabólicos.

3.4. Caraterização de um sistema solar

Segundo Mendes, um sistema solar térmico é um conjunto de equipamentos que captam, transformam, transferem e armazenam a energia solar, para posterior utilização, de acordo com as necessidades de consumo doméstico de energia térmica. Essas necessidades são essencialmente, de água quente sanitária.

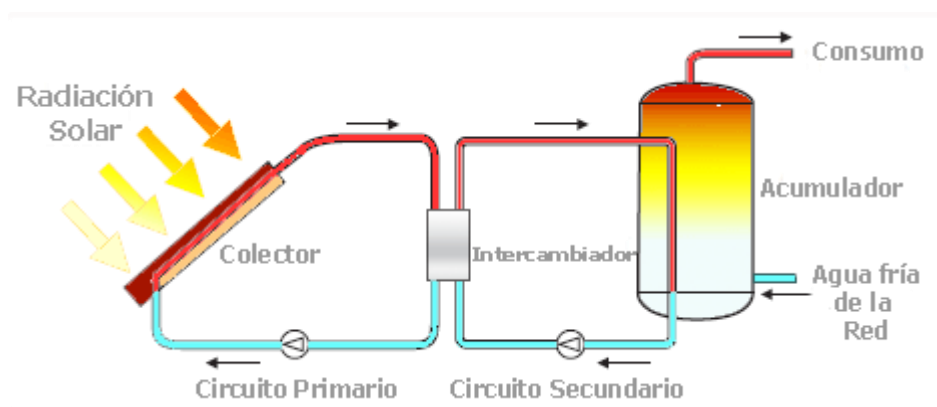


Figura 6 - Esquema de um sistema solar térmico.

Fonte: Website: Energia solar - <https://pt.solar-energia.net/solar-termica>

O equipamento fundamental de um sistema solar é o coletor solar, onde se dá a transformação da radiação eletromagnética, proveniente do sol, em energia térmica na chamada placa absorvedora, que de seguida, a transfere para um fluido que é normalmente, água misturada com aditivos anticongelantes e anticorrosivos, circulando numa grelha de tubos, soldados, ou por qualquer outra forma em bom contacto térmico com essa placa absorvedora.

O conjunto placa, grelha, fluido aumenta naturalmente a sua temperatura para valores superiores à temperatura ambiente, pelo que o conjunto tem de ser isolado por baixo e nos lados, e protegido por cima com uma placa transparente de vidro, que deixa

passar os raios solares e ajuda a criar o chamado “efeito estufa” que reduz fortemente as perdas pela frente.

O fluido de transferência, assim aquecido, circula então por ação de uma bomba circuladora ou por termossifão, entre o coletor e depósito solar, onde a energia solar captada é transferida num permutador, em geral numa serpentina imersa no depósito, e armazenada sob a forma de água quente, para posterior utilização, de acordo com as necessidades.

O depósito solar é alimentado, na sua parte inferior, com água fria da rede e é a partir da sua parte superior, onde se encontra a água mais quente, que é alimentado o circuito de água quente doméstica.

3.5. Circuito solar

De acordo com o manual sobre tecnologias, projeto e instalação (2004), o circuito solar é quem faz o transporte do calor gerado nos coletores para os tanques de armazenamento solar. Este é constituído pelos seguintes elementos:

- Tubagens: permitem a ligação dos coletores aos tanques de armazenamento que muitas vezes são instalados na cave quando se trata de uma circulação forçada;
- Fluido de transferência térmica: transporta o calor do coletor para o tanque de armazenamento;
- Bomba solar: faz circular o fluido de transferência térmica no circuito solar;
- Permutador de calor: transfere o calor para a água potável no tanque de armazenamento;
- Tanques de armazenamento;
- Equipamento de segurança: vaso de expansão e válvula de segurança que protegem o sistema de danos (perdas) devido à expansão do fluido térmico.

3.5.1. Tubagem

Segundo o manual sobre tecnologias, projeto e instalação (2004), os materiais mais frequentemente utilizados, em instalações solares térmicas são o aço inox, o cobre, o aço galvanizado, o aço negro e os materiais plásticos. Para o transporte de calor em condutas entre o coletor e o tanque de armazenamento, o cobre é o material mais utilizado, por ser tecnicamente adequado e economicamente competitivo.

O cobre resiste à corrosão, tanto dos líquidos que circulam no seu interior como dos agentes exteriores, a sua maleabilidade e ductilidade permitem uma cómoda manipulação e uma grande facilidade para realizar traçados complicados.

Relativamente aos tubos de aço inox a sua utilização tem sido crescente nos últimos anos, devido à sua boa resistência à corrosão, facilidade de corte e gama completa de acessórios para montagem rápida.

Apresenta a vantagem de ter menos perdas de carga em linha, permitindo o uso de diâmetros menores. Em contraposição com o cobre não é aconselhável fazer dobragens no aço inox, o que implica a utilização de acessórios que aumentam as perdas de carga singulares.

Os outros materiais apresentam problemas de corrosão e oxidação, o que limita a sua utilização em circuitos com menores temperaturas ou apenas para o circuito primário.

3.5.2. Fluido de transferência térmica

De acordo com o manual sobre tecnologias, projeto e instalação (2004), o fluido de transferência térmica transporta o calor produzido no coletor para o tanque de

armazenamento solar. O líquido utilizado neste fluido é a água devido às seguintes propriedades:

- Capacidade térmica elevada;
- Condutividade térmica elevada;
- Baixa viscosidade.

Para além disso a água:

- Não entra em combustão;
- Não tem toxicidade;
- É barata.

Uma vez que a temperatura de operação nos coletores pode variar entre -15°C e $+350^{\circ}\text{C}$, se for utilizada água como meio de transferência de calor, existirão problemas devido ao congelamento e evaporação. De facto, a água congela a 0°C e evapora a 100°C .

Por forma a aumentar o intervalo em que a água se apresenta no seu estado líquido é adicionado glicol (anticongelante). Desta forma baixa-se o ponto de congelamento e aumenta-se a temperatura de ebulição da mistura. Assim, tendo em conta a localidade que se pretende instalar o dispositivo é escolhida uma percentagem de glicol consoante a temperatura mínima e máxima do local.

No entanto a adição de glicol ao fluido aumenta o efeito corrosivo da água, sendo por esta razão, necessária a adição de inibidores de acordo com as características destes para os materiais específicos da instalação.

Para além do aumento do efeito corrosivo, a adição de glicol altera as propriedades do fluido de transferência térmica com:

- Diminuição das capacidades térmicas;
- Redução da condutividade térmica;

- Aumento da viscosidade;
- Aumento da fricção.

Além de uma condutividade e capacidade térmica suficientemente elevadas e com uma proteção contra congelamento e evaporação, outro requisito do fluído de transferência térmica que deve-se ter em conta, passa pela sua biodegradabilidade e o fato de não ser tóxico nem irritante. Estes requisitos são satisfeitos através de mistura de água/glicol com inibidores líquidos.

3.5.3. Circulação do fluído de transferência térmica

Segundo Carvalho L. *et al* (SD), para o aquecimento da água, no que diz respeito a captação de energia proveniente da radiação solar, existem dois sistemas possíveis:

- Circulação natural (termossifão);
- Circulação forçada.

A opção de escolha entre estes dois tipos de sistemas solares térmicos dependerá da carga energética que se pretenda cobrir, do tipo de hidráulica e das condicionantes do local destinado a instalação.

Sistema termossifão

O sistema de circulação natural, denominada de termossifão, é aplicada a instalações de dimensões mais reduzidas e na produção de águas quentes sanitárias, pois é um sistema limitativo em termos de produtividade solar, de capacidade de armazenamento de energia e de área de captação. De qualquer forma, é um sistema com uma maior facilidade de instalação e não depende de meios mecânicos (para a circulação de fluído) ou controlos eletrónicos para o seu perfeito funcionamento.

Quando a radiação solar incide no coletor, verifica-se um aumento da temperatura do fluido solar que percorre a tubagem do circuito primário. Este, com o aumento da temperatura, diminui a densidade, favorecendo o seu movimento, ou seja, a circulação faz-se por convecção natural. Já que a densidade do fluido diminui devido ao seu aquecimento, então este ascenderá do coletor para o depósito e o fluido mais frio descenderá para o coletor. Este processo é contínuo desde que exista uma diferença de temperatura entre o acumulador e o coletor, suficiente para criar movimento no fluido térmico.

Quando o fluido solar sobe e atinge o permutador de acumulador, transmite energia na forma de calor, aquecendo a água que se encontra no interior do mesmo. Quanto maior for a radiação solar disponível, maior será o caudal de fluido térmico e, se não houver radiação ou a temperatura no coletor não for superior a do depósito, não haverá circulação e, conseqüentemente, não será aquecida a água do acumulador, havendo necessidade de prever um sistema de apoio.

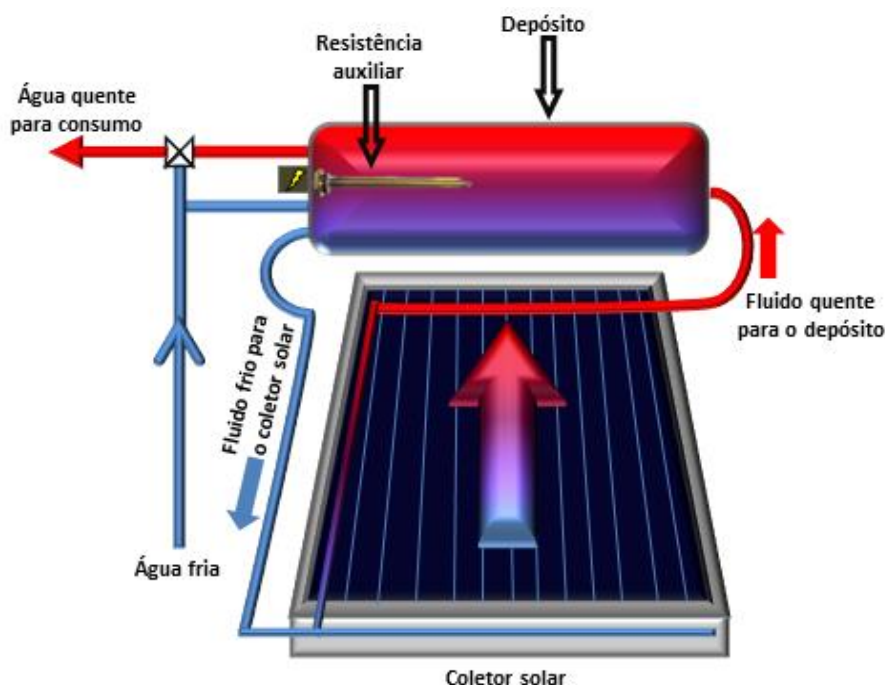


Figura 7 - Esquema em termosifão

Fonte: Website - <https://pt.linkedin.com/pulse/energia-solar-%C3%A9-tudo-mesma-coisao-retorno-rafael-da-silva-santos>

Sistema de circulação forçada

Num sistema de circulação forçada o transporte de energia através do fluído térmico entre os coletores e o depósito é garantido por uma bomba circuladora.

Uma instalação forçada, pelo fato de potenciar diversos tipos de instalações, permite aquecer um maior volume de água e, por isso, maior área de campo de coletores.

Este tipo de instalação, pelo fato de envolver mais componentes, é mais exigente comparativamente com a circulação natural, pois envolve uma série de cálculos e dimensionamentos para que todo o sistema funcione de forma eficiente.

Neste tipo de instalação o acumulador poderá ser instalado a um nível inferior aos coletores e sem limite de distância, uma vez que, o princípio de funcionamento do sistema permite o escoamento do fluído térmico através de uma bomba circuladora (previamente dimensionada considerando o traçado de tubagem e os restantes acessórios hidráulicos). Assim, quando existir uma diferença de temperatura, entre o fluído térmico nos coletores e o volume de água na zona inferior do depósito acumulador, o controlador irá fornecer energia elétrica à bomba circuladora, que por sua vez movimentará o fluído entre o coletor e o acumulador. Por conseguinte, a energia é transmitida do interior da serpentina do acumulador para a água de consumo que se encontra dentro do mesmo.

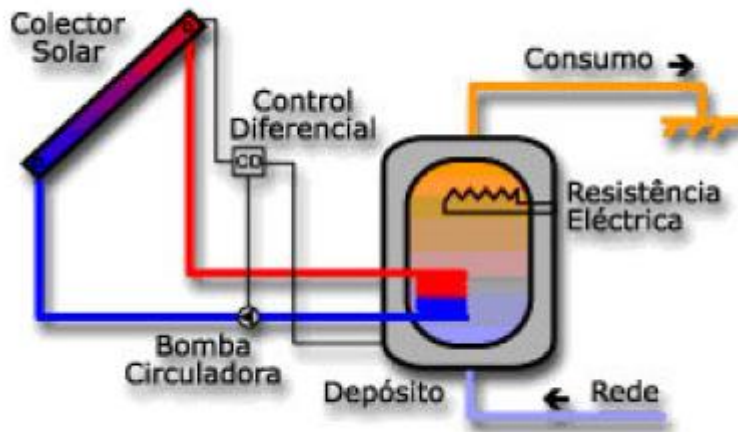


Figura 8 - Esquema de circulação forçada.
Fonte: Website: <http://api.pt/circulacao.html>

3.5.4. Princípio de ligação entre sistemas de coletores

Segundo Cusa (1999), existem duas possibilidades de juntar os coletores entre si formando assim a superfície coletora. Essas ligações fazem-se através de acessórios roscados e uniões de acoplamento:

- Em série;
- Em paralelo.

Ligações em séries

O tubo de saída de cada placa é ligado com o bocal de entrada do módulo seguinte e, o último da série com a tubagem condutora da água quente até ao acumulador. Com este sistema consegue-se que:

- A água que circula percorra os circuitos de todos os módulos, um a seguir ao outro e vá aumentando a sua temperatura em cada um deles;
- Visto que o aquecimento da água é realizado por transferência, ao arrefecer a superfície de absorção recebe o calor que aquela cede, quanto maior for a temperatura atingida menor será o efeito refrigerante, isto é, descera o rendimento

do circuito de cada placa solar. Numa instalação de coletores em série, cada elemento estará a diferentes temperaturas. Isto não tem importância quando se trata de séries curtas, mas a partir de seis elementos modulares, a água vai encontrar dificuldades para circular e vai ser preciso uma bomba que se encarregue de a impulsionar.

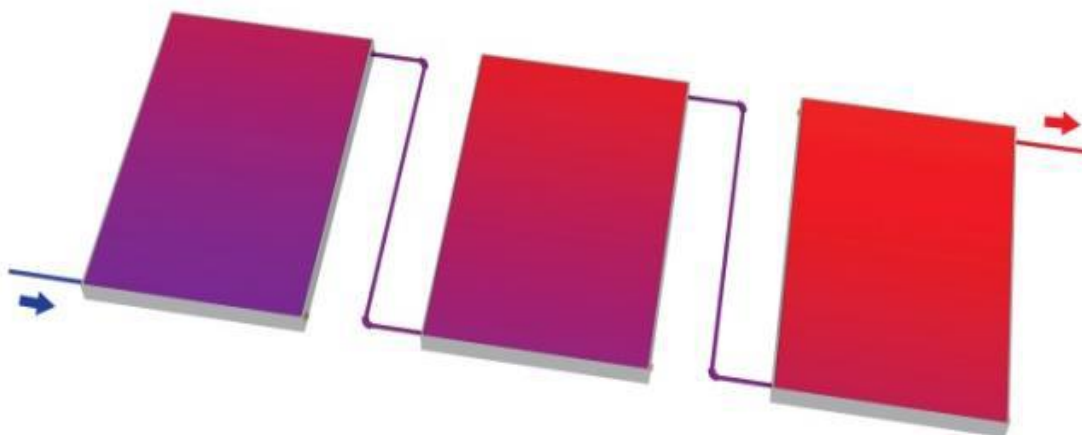


Figura 9 - Ligação dos coletores em série.

Fonte: Comgás e Abrinstal, (2011), manual técnico para projetos e construções de sistemas de aquecimento solar e gás natural.

Ligação em paralelo

Também chamada ligação em bateria, está representada nas figuras seguintes nas suas duas versões: paralela em tubagem exterior e paralela em tubagem horizontal dos coletores, também conhecido como paralelo de canais. Diferenciam-se do sistema anterior, porque cada módulo funciona independentemente; recebem a água de uma conduta geral que a abastece, em separado, aos diferentes elementos que compõem a superfície coletora. Atravessado o circuito e já quente, a água vai dar a outra conduta geral, encarregada de transportá-la até ao acumulador.

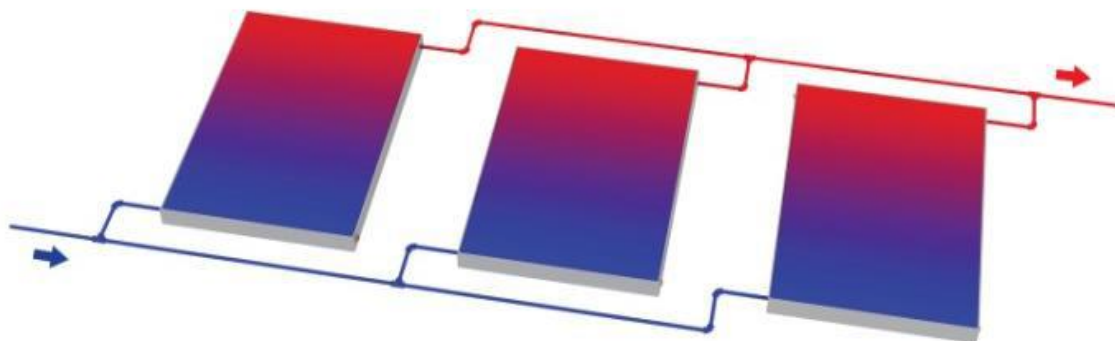


Figura 10 - Ligação em paralelo.

Fonte: Comgás e Abrinstal, (2011), manual técnico para projetos e construções de sistemas de aquecimento solar e gás natural.

3.5.5. Permutador de calor solar (transferência de calor unitária)

De acordo com o manual sobre tecnologias, projeto e instalação (2004), num sistema de circuitos gémeos é necessário um permutador de calor (transferência de calor unitário) para a transferência do calor ganho do sol para a água potável. Podem-se diferenciar os permutadores de calor entre externos e internos.

Permutadores de calor internos

Os permutadores de calor internos disponíveis podem ser “tubulares com alhetas” e “tubulares lisos”. O permutador de calor tubular liso possui uma maior capacidade de troca de calor por metro quadrado de superfície de troca de calor. Comparando com os permutadores de calor tubulares com alhetas, os permutadores lisos requerem tubos com maior comprimento. Desta forma os permutadores de calor tubulares lisos são instalados em fábricas enquanto os permutadores de calor com alhetas, devido ao seu *design* mais compacto, podem ser instalados dentro de tanques de armazenamento diretamente no local de instalação do sistema.

De destacar que a área da superfície de transferência efetiva dos permutadores de calor pode ser reduzida através da sua cobertura com calcário. Uma camada de dois milímetros (2 mm) de espessura reduz a capacidade de transferência de calor do permutador de calor em 20%, enquanto uma de cinco milímetros (5 mm) de espessura reduz em mais de 40%.

A instalação vertical dos permutadores promove o efeito de estratificação térmica no sistema de armazenamento e as ligações ao circuito solar devem ser feitas de modo que o fluxo permutado seja de cima para baixo de modo que a otimizar a passagem de calor.

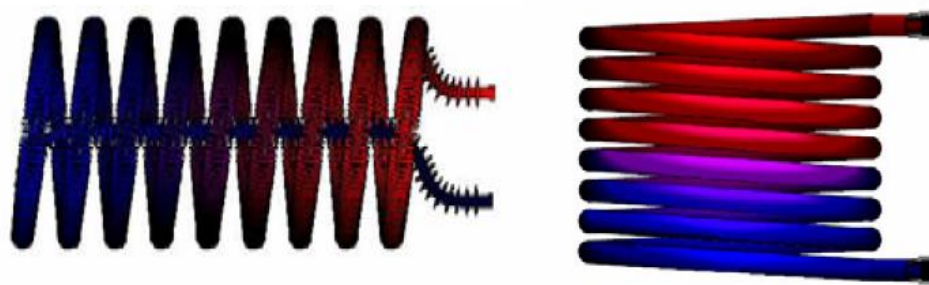


Figura 11 - Tubo permutador de calor rugoso e Tubo permutador de calor liso
Fonte: Energia solar térmica, Manual sobre tecnologias, projeto e instalação

Permutadores de calor externos

Os permutadores de calor externos são de dois tipos: placas ou tubulares. O fluxo dos dois líquidos (fluido de transferência térmica e a água potável ou água para aquecimento) passa um pelo outro em contracorrente. Os permutadores de calor externos são isolados com coberturas isoladoras de calor pré-fabricadas.

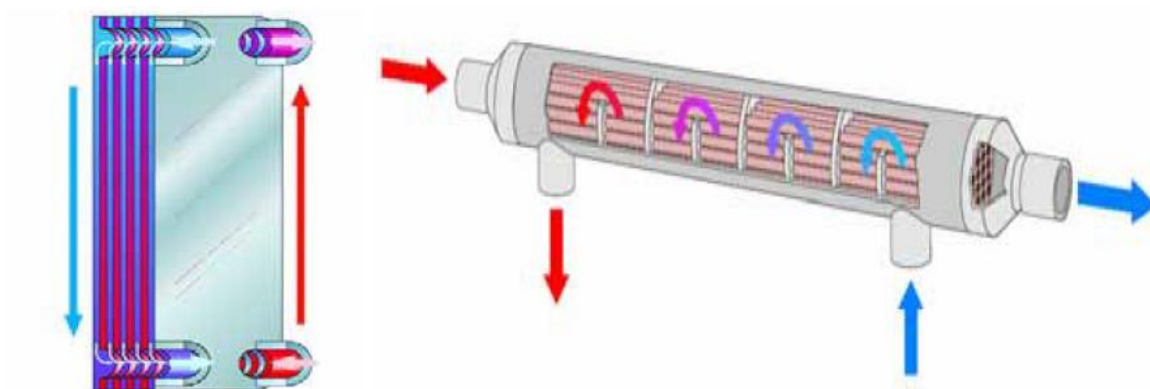


Figura 12 - Permutador de placas e Permutador de calor tubular
Fonte: Energia solar térmica, Manual sobre tecnologias, projeto e instalação

Vantagens dos permutadores de calor externos:

- A capacidade de transferência de calor é mais elevada do que os permutadores de calor internos;
- Dificilmente existe redução na performance devida à obstrução com calcário;
- Vários tanques de armazenamento podem ser carregados apenas por um permutador de calor.

Desvantagens de permutadores de calor externos:

- São mais caros que os permutadores de calor internos;
- É necessária uma bomba adicional na parte secundária do permutador de calor.

Os permutadores de calor são normalmente usados em grandes sistemas. Em tais sistemas um permutador de calor pode carregar diversos tanques de armazenamento o que significa que o custo é menor em comparação com a instalação de diversos permutadores de calor internos. Os permutadores tubulares são normalmente usados em sistemas de piscinas de natação.

3.5.6. Tanque de armazenamento

Devido há instabilidade da radiação solar e também pelo fato da utilização da água quente pelos consumidores ser intermitente e desfasada com a insolação então há uma necessidade de armazenar o calor gerado pelos coletores ao longo da radiação, daí a utilização desses tanques de armazenamento torna indispensável a esse tipo de sistemas.

De acordo com Padre Hymalaia, as aplicações diferenciam-se os tipos de tanques de armazenamento, tendo em conta, a força de compressão e o material. Consoante a ligação e transferência de calor entre o coletor solar e o depósito, os tanques podem ser:

- Tanque de armazenamento (sem permutador de calor) para circuito direto: Fluido que circula nos coletores solares é a água de consumo. Este circuito acarreta problemas de corrosão e calcificação das tubagens, pelo que se encontra em desuso (Figura 13 à esquerda).
- Tanque de armazenamento (com permutador de calor) para circuito primário: Nos coletores circula um determinado fluido térmico, em circuito fechado e com permuta térmica para o circuito de consumo (secundário) num permutador de calor interior ou exterior ao depósito. Esses tanques são os mais utilizados atualmente (Figura 13 à do meio).
- Tanque de armazenamento com camisa - este como ilustra na Figura 13 à direita são reservatórios que consistem em ter um cilindro dentro do outro cilindro, cuja espessura entre eles é muito reduzida na ordem dos 5mm. É por esta espessura que vai circular o fluido de transferência de calor em toda a extensão do tanque de armazenamento e, o cilindro com o maior volume encontra-se com água de consumo.

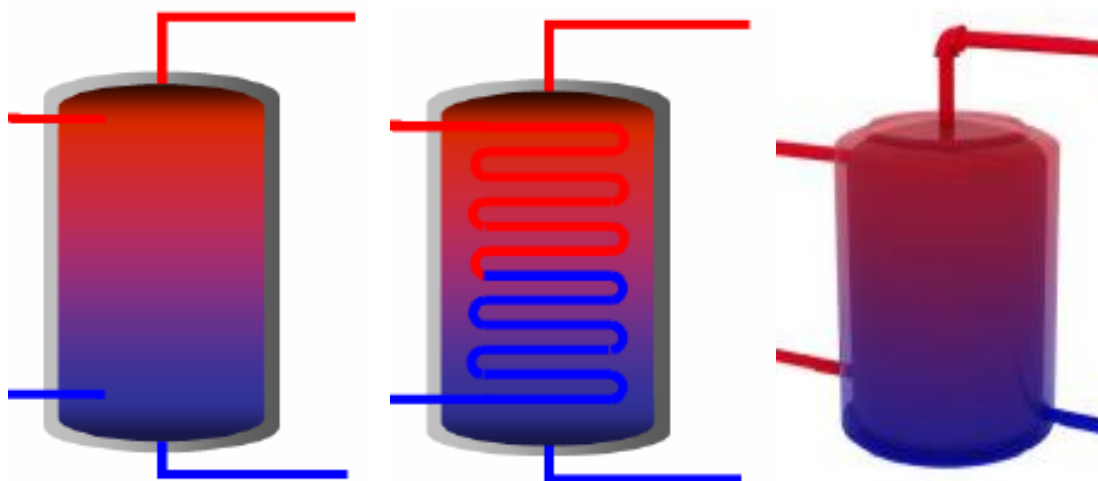


Figura 13 - Tipos de tanques de armazenamento.
Fonte: Concurso solar, Padre Hymalaia.

3.5.7. Bombas de circulação

De acordo com o manual técnico de Comgás e Abrinstal (2011), para os sistemas onde o depósito de armazenamento é colocado afastado dos coletores, ou seja, para um sistema de circulação forçada é necessário ter uma bomba para fazer circular a água ou o fluido térmico com velocidade e fluxos específicos de forma a garantir o funcionamento e eficiência do sistema de aquecimento. O tamanho das bombas depende do tamanho do sistema e da distância/altura entre os coletores e o reservatório térmico.



Figura 14 - Bomba de Circulação.
Fonte: Comgás e Abrinstal, (2011), manual técnico para projetos e construções de sistemas de aquecimento solar e gás natural.

3.5.8. Controladores

Segundo o manual técnico de Comgás e Abrinstal (2011), para um sistema de circulação forçada cujo uso da bomba é imprescindível terá a necessidade de ter um sistema de controlo para acionar e parar a bomba e também para a redução das perdas térmicas do sistema otimizando assim este sistema.

O sistema mais simples utilizado, considerado como básico em qualquer instalação de sistema de aquecimento solar com circulação forçada, é o de monitoramento da temperatura diferencial entre os coletores solares e o reservatório térmico.

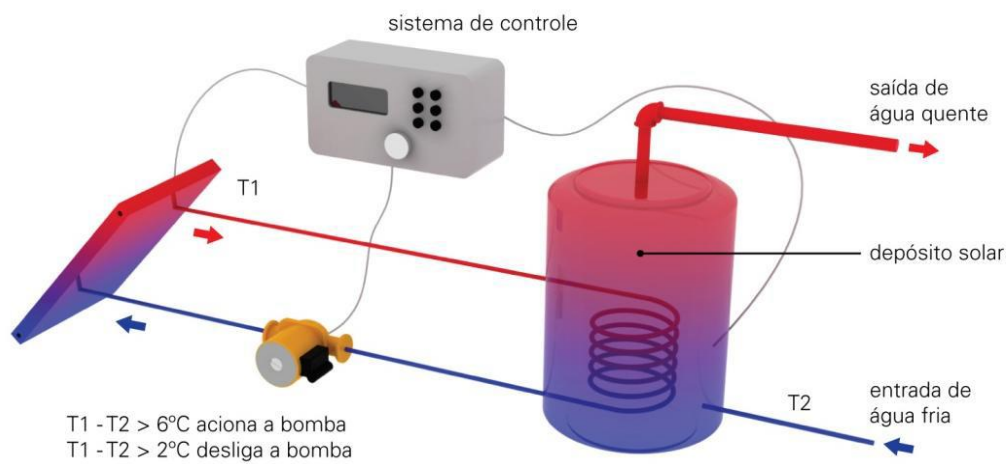


Figura 15 - Controlador da bomba.

Fonte: Comgás e Abrinstal, (2011), manual técnico para projetos e construções de sistemas de aquecimento solar e gás natural.

Nesta configuração, quando a temperatura do coletor possui uma determinada temperatura acima da temperatura do reservatório, a bomba de recirculação é acionada e transporta o fluido dos coletores para dentro do reservatório, caso contrário o sistema é desligado. Alguns valores podem ser adotados com relação à diferença de temperatura de acionamento, que a bomba é acionada com 6°C de diferencial e desligada com 2°C. Essa função evita a ocorrência de resfriamento da água armazenada nos coletores quando estes estão com temperatura mais baixa.

3.5.9. Vaso de expansão

De acordo com o manual técnico de Comgás e Abrinstal (2011), os vasos de expansão são itens de segurança imprescindíveis para os sistemas de aquecimento indiretos, pois absorvem parte das variações de pressões da rede geradas por expansão térmica (variação de temperatura). Nesses vasos existe uma câmara onde o ar é preso dentro de um diafragma, que se expande ou contrai de acordo com a pressão no sistema.



Figura 16 - Vaso de expansão.

Fonte: Comgás e Abrinstal, (2011), manual técnico para projetos e construções de sistemas de aquecimento solar e gás natural.

3.6. Coletor solar

De acordo com Kalogirou (2004), os coletores de energia solar são um tipo especial de trocadores de calor, que transformam energia de radiação solar em energia interna por meio de transporte.

De acordo com as necessidades, temos diferentes tipos de tecnologias a disposição no mercado para um maior aproveitamento dessa energia. O principal componente de qualquer sistema solar é o coletor solar. Este dispositivo absorve a radiação solar recebida,

converte em calor, e transfere esse calor para um fluido (geralmente ar, água ou óleo) que flui pelo coletor. A energia solar assim coletada é transportada do fluido circulante para um tanque de armazenamento de energia térmica, a partir do qual, pode ser desenhado para uso à noite e/ou dias nublados.

Uma instalação solar térmica consiste basicamente num campo de coletores no qual circula o fluido de transferência térmica (circuito primário). Um sistema de regulação controla a circulação do fluido pelo campo de coletores dependendo da intensidade da radiação. Para fins de troca de calor, a energia solar pode ser usada para aquecer fluidos, ar ou sistemas de geração de vapor. Sistemas solares térmicos podem ser utilizados em alternativa aos sistemas convencionais potenciados por combustíveis fósseis ou em sistemas combinados.

Segundo Kalogirou (2004), existem basicamente dois tipos de coletores solares: não concentrados ou estacionário e concentradores ou móveis. Os coletor estacionário são caracterizados por uma mesma área de intercessão e de absorção da radiação solar, enquanto, os coletores moveis rastreiam a movimentação do sol e tem uma superfície refletora que intercepta e foca a radiação solar numa área absorvedora caracterizada por uma área muito inferior em relação a área da superfície refletora, logo aumentando o fluxo da radiação, estes coletores são ideais para obter altas temperaturas.

Os diferentes tipos de tecnologias de coletores solares são apresentados numa tabela a seguir, que faz um resumo completo de todos os tipos de coletores existentes atualmente:

Movimento	Tipo de coletor	Tipo de absorvedor	Grau de concentração	Gama de temperatura
Estacionário	Coletor plano	Plano	1	30-80
	Coletor de tubos evacuados	Plano	1	50-200
	Coletor parabólico composto	Tubular	1-5	60-240
Rastreio da posição do sol em único eixo	parabólico composto	Tubular	5-15	60-300
	Lentes Fresnel	Tubular	10-40	60-250
	Calha parabólica	Tubular	10-85	60-400
Rastreio da posição do sol em dois eixos	Disco parabólico	Pontual	600-2000	100-1500
	Campo heliostato	Pontual	300-1500	150-2000
Nota: Grau de concentração é definido como área de abertura dividida pela área superfície refletora				

Tabela 1 - Tipos de coletores e temperaturas de operação
Fonte: Adaptado do Kalogirou S. (2004), Solar thermal collectors and applications, Elsevier.

3.6.1. Coletores Estacionários

De acordo com Kalogirou (2004), estes coletores são permanentemente fixos e não rastreiam o movimento do sol. Pode-se destacar três tipos nesta categoria:

- ✓ Coletor plano;
- ✓ Coletor de tubos evacuados;
- ✓ Coletor parabólico composto.

3.6.1.1. Coletor Plano

Um coletor solar típico de placa plana é ilustrado na Figura 12. Quando a radiação solar passa por uma cobertura transparente e incide sobre a superfície escurecida do

absorvedor caracterizado pelo alto grau de absortividade, uma grande parte dessa energia é absorvida pela placa e depois transferida por meio de transporte dos tubos para o fluido de transferência térmica. A parte inferior da placa absorvente e o lado da caixa são bem isolados para reduzir as perdas de condução. Os tubos de circulação do fluido podem ser soldados na placa absorvente, ou podem ser uma parte integrante da placa. Dois tubos de maior diâmetro, um de alimentação e outro de retorno do fluido de transferência térmica estão colocados nas extremidades do coletor e são conectados aos tubos do coletor.

As maiores vantagens dos coletores planos em relação as outras tecnologias, são o seu baixo custo e devido ao fato de absorverem com bom grau de eficiência, a radiação direta e a difusa, são perfeitas para o aquecimento de água doméstica ou industrial a baixas temperaturas até 80 °C.

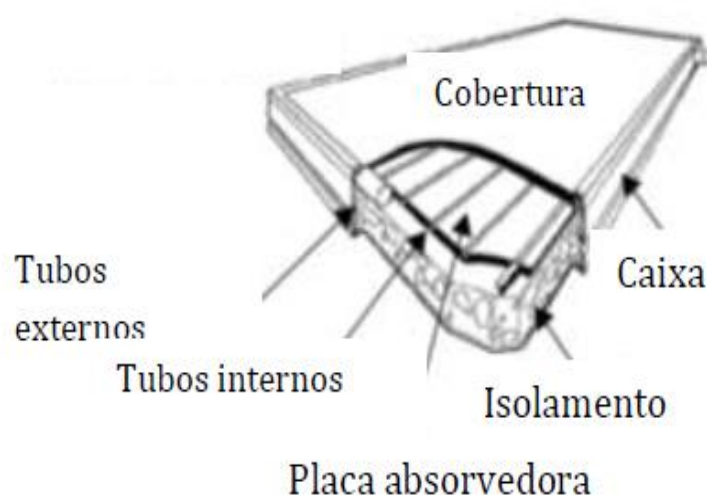


Figura 17 - Coletor plano típico e coletor plano serpentina.
Fonte: Kalogirou S. (2004), *Solar thermal collectors and applications*, Elsevier.

3.6.1.2. Coletores de tubos evacuados

Face às limitações dos coletores planos foram desenvolvidos os coletores de tubos evacuados. Os convencionais coletores planos foram desenvolvidos para serem usados em

ambientes com alto grau de radiação solar, contudo o seu desempenho é reduzido consideravelmente em ambientes não tão favoráveis, nomeadamente no inverno, em dias nublados ou em dias com muito vento. Além disso, o fluido de transferência térmica, que circula pelos tubos nas extremidades tende a roubar calor aos tubos internos.

Pelo fato de não existir evaporação ou condensação acima da temperatura de mudança de fase, esses coletores são dotados de uma proteção própria contra o congelamento ou sobreaquecimento. A autolimitação de temperatura é uma característica única que torna estes coletores muito utilizados para se alcançar temperaturas na ordem dos 200 °C. Coletor de tubo evacuado consiste em um tubo dentro de um tubo fechado vácuo, reduzindo assim, as perdas por convecção e por condução, tornando o sistema mais eficaz como mostra a Figura 18.

Estudos recentes estão sendo desenvolvidos com o propósito de reduzir os custos de produção e aumento do tempo de vida útil. O fator custo ainda constitui uma das limitações para a escolha desse tipo de coletor, no entanto, estudos vêm sendo desenvolvidos com o intuito de reduzir o número de tubos evacuados por cada coletor e o uso de superfícies refletoras para concentrar a radiação solar nos tubos. Os tubos evacuados são fabricados em diversos tamanhos, sendo os diâmetros externos dos tubos variam atualmente entre 30-100 mm. O comprimento mais comum no mercado dos coletores evacuados é cerca de dois (2) metros.

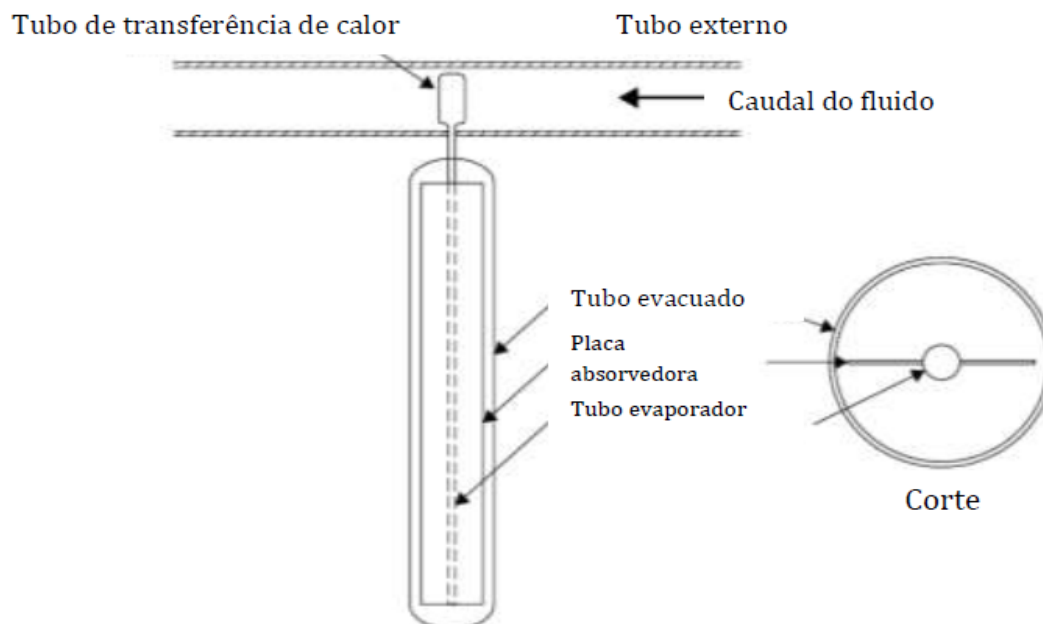


Figura 18 - Detalhe coletor tubo evacuado.

Fonte: Kalogirou S. (2004), *Solar thermal collectors and applications*, Elsevier.

3.6.1.3. Coletor Parabólico Composto (CPC)

Esses coletores têm em particular, a capacidade de refletir ao absorvedor quase toda a radiação incidente com alto grau de eficiência. Coletores do tipo CPC podem aceitar a radiação solar em diferentes ângulos. A configuração interna é caracterizada por vários elementos, que favorecem a reflexão da maior parte da radiação solar para o tubo absorvedor, localizado no fundo do coletor. O absorvedor assume, hoje em dia, vários formatos, sendo os mais comuns os de barra ou cilíndrico.

Os CPC podem ser estacionários ou móveis, portanto tem a possibilidade de rastrear a posição do sol. Para gamas de temperaturas mais altas, são instalados sistemas de rastreamento solar, com o objetivo de melhorar o desempenho. Os coletores são construídos normalmente como uma unidade com uma abertura e um absorvedor, ou como painel. Quando construído como painel assemelha-se ao coletor plano como mostra a Figura 19.

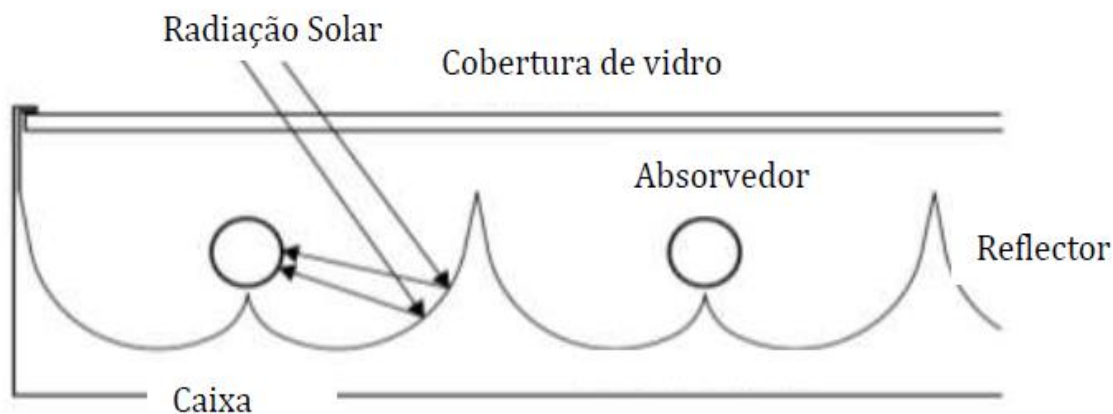


Figura 19 - Coletor parabólico composto
Fonte: Kalogirou S. (2004), *Solar thermal collectors and applications*, Elsevier.

3.6.2. Coletores dotados de sistemas de rastreamento da posição do sol

Ainda segundo Kalogirou (2004), com a diminuição da área a partir da qual ocorrem as perdas de calor podem ser atingidas altas temperaturas. Temperatura muito acima das atingidas pelos coletores planos, podem ser alcançado se uma grande quantidade de radiação solar estiver concentrada em uma área de coleta relativamente pequena. Estes coletores são conhecidos como coletores concentradores e são normalmente dotados de sistemas de rastreamento da posição do sol.

Coletores concentradores apresentam diversas vantagens em relação aos coletores planos, por exemplo:

- ✓ O fluido de transferência térmica pode alcançar altas temperaturas no elemento absorvedor, traduzindo numa alta eficiência termodinâmica;
- ✓ Com coletores concentradores é possível alcançar uma excelente relação termodinâmica entre a temperatura do fluido térmico e a temperatura requerida;
- ✓ A eficiência térmica é maior por causa da reduzida perda de calor na área de absorção;
- ✓ As superfícies refletoras são mais acessíveis, exigem menos material e são estruturalmente simples em relação a outros materiais usados em outras tecnologias;

- ✓ Devido a reduzida área absorvedora usada em cada unidade de coletor, superfícies seletivas e tubos evacuados são utilizadas com o propósito de reduzir as perdas e aumentar o desempenho.

Desvantagens:

- ✓ Só aproveitam pequena parte da radiação difusa dependendo do grau de concentração;
- ✓ Sistemas de rastreamento normalmente instalados encarecem o custo desses sistemas;
- ✓ As superfícies refletoras perdem a capacidade refletora com o tempo e requerem manutenção constante nomeadamente a limpeza e polimento.

Muitas configurações vêm sendo desenvolvidas ao longo dos anos. Quanto aos concentradores podem ser refletores ou refratores, podem ser cilíndricos ou parabólicos, contínuos ou segmentados. Os absorvedores podem ser convexos, planos, cilíndricos ou côncavos e ainda podem ter ou não cobertura transparente. Grau de concentração, i.e., relação entre abertura e área de absorção, podem variar de forma considerável entre valores acima da unidade para valores até 10000. Altos graus de concentração significam maiores temperaturas pela qual energia pode ser entregue, mas consequentemente, estes coletores aumentaram o nível de precisão na qualidade dos materiais óticos utilizados e sistemas de rastreamento mais complexos.

Por causa do movimento aparente do sol através do céu, os coletores concentradores devem seguir o movimento diário do sol. O rastreamento pode ser feito por dois métodos. O primeiro é o método “Altazimuth”, que consiste em rastrear o movimento do sol em termos de altitude e ângulo azimute, i.e., rastreando o sol exatamente no seu movimento. O outro método de rastreio acontece em único eixo, na qual o sistema como o nome indica acompanha o movimento do sol em uma única direção, que tanto pode ser este-oeste ou norte-sul. Os coletores concentradores parabólicos normalmente usam esse

sistema de rastreio. Atualmente existem, 4 tipos de coletores concentradores dependendo da temperatura de operação requerida:

- ✓ Lentes Fresnel;
- ✓ Calha parabólica;
- ✓ Discos parabólicos;
- ✓ Campo helióstato.

3.6.2.1. Lentes Fresnel

Uma aplicação desta tecnologia está ilustrada na Figura 20, em que as tiras refletoras são montadas numa superfície terraplena e concentram a radiação recebida num absorvedor linear montado numa torre.

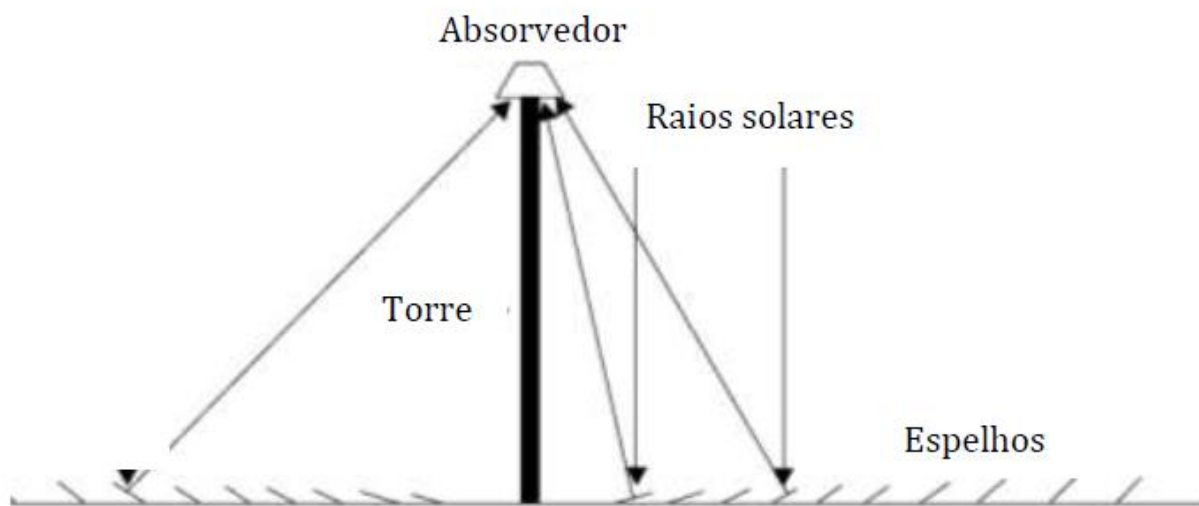


Figura 20 - Campo Lentes refletoras Fresnel
Fonte: Kalogirou S. (2004), *Solar thermal collectors and applications*, Elsevier.

A primeira aplicação desta tecnologia foi feita por Giorgio Francia em 1968, que desenvolveu tanto, a tecnologia de rastreamento linear, bem como, o bi-axial para estes sistemas em Génova, Itália. Uma das dificuldades para uso de CLF (Coletor Linear Fresnel) é evitar o sombreamento e obstrução da radiação solar entre os refletores adjacentes,

obrigando um maior espaçamento. A obstrução da radiação solar pode ser contornado, aumentando a altura da torre de absorção que, por sua vez, aumenta os custos de instalação.

Uma versão de dimensões reduzidas de um CLF foi desenvolvida pela universidade de Sydney na Austrália. Essa opção disponível hoje em dia, resolve o problema do espaço que dificulta a instalação desses sistemas.

O espaçamento entre os refletores, aliado ainda a preparação do terreno, estrutura de suporte dos refletores, estrutura da torre, circuito primário, combate as perdas de calor encarece muito a utilização desses sistemas, apesar de altas temperaturas alcançadas na ordem dos 250 °C.

3.6.2.2. Coletor concentrador parabólico (Calha parabólica)

A fim de fornecer altas temperaturas com boa eficiência é necessário um coletor solar de alto desempenho. Sistema com estruturas leves e tecnologia de baixo custo para processo de aplicações de calor até 400 °C. Calhas parabólicas podem efetivamente produzir calor a temperaturas desde os 50 aos 400 °C.

Coletores concentradores parabólicos são feitos, moldando uma folha de material com excelentes propriedades refletoras numa forma parabólica. Um tubo metálico escurecido envolvido por um tubo de vidro concêntrico localizado na linha focal da parábola tem a função de absorver a energia refletida pela superfície refletora.

Quando a parábola está direcionada para o sol, os raios paralelos que incidem na superfície refletora são refletidos para o tubo absorvedor, aquecendo o fluido que circula pelo tubo transformando portanto, a radiação solar em calor útil.

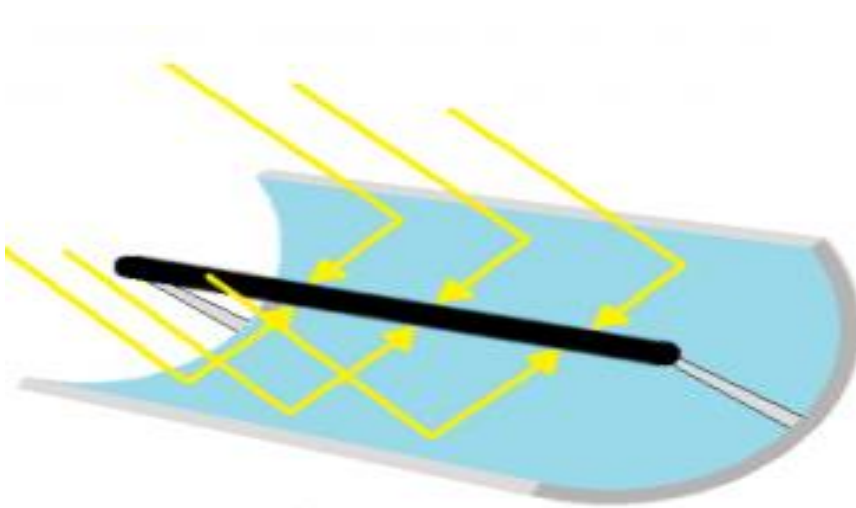


Figura 21 - Coletor concentrador parabólico (calha parabólica)

Fonte: Website: Energia solar - <https://pt.solar-energia.net/solar-termica/temperatura-alta>

A tecnologia da calha parabólica é a tecnologia mais amadurecida em relação as outras tecnologias de coletores concentradores disponíveis, por causa da considerável experiência com esses sistemas e pesquisas que, vem sendo feitas para tornar estes coletores mais comerciais.

3.6.2.3. Discos parabólicos

Coletor tipo disco parabólico, mostrado esquematicamente na Figura 22, consiste num coletor em forma de disco que foca a radiação num absorvedor colocado no ponto focal do disco. A estrutura do disco rastreia totalmente a posição do sol e reflete a radiação solar para o absorvedor. O mecanismo de rastreamento normalmente empregado nesse tipo de coletor é do tipo bi-axial.

A radiação solar é convertida em energia térmica para um fluido térmico contida no absorvedor, energia essa, que normalmente é convertida em calor de processo ou em eletricidade, usando um grupo gerador acoplado diretamente no absorvedor ou opta-se por

transportar o fluido térmico aquecido para uma central de produção de eletricidade. Com essa tecnologia pode-se alcançar temperaturas acima de 1500 °C.

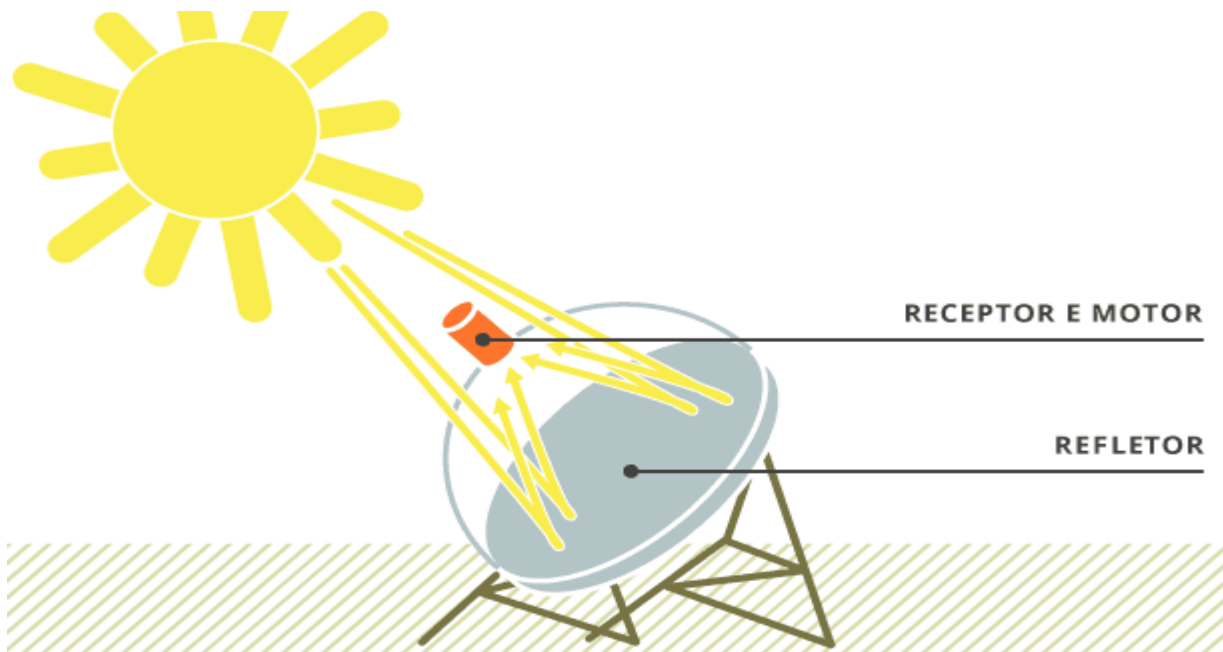


Figura 22 - Coletor disco parabólico

Fonte: Website - Energia Heliotérmica - <http://energiaheliotermica.gov.br/pt-br/energia-heliotermica/como-funciona>

As principais vantagens desses sistemas:

- ✓ Pelo fato desses coletores estarem sempre direcionados para o sol, são atualmente a tecnologia mais eficiente disponível;
- ✓ Os altos níveis de concentração (600-2000) alcançados favorecem sistemas para a produção de eletricidade com alta eficiência térmica;
- ✓ O fato dos coletores e os absorvedores serem comercializados em módulos permite uma operação independente ou em grupos.

A principal aplicação desse tipo de coletor é nos sistemas de geração de eletricidade, através da instalação de um grupo alternador/motor no ponto focal do disco, onde o vapor gerado tem função de mover o grupo alternador/motor produzindo portanto eletricidade. Os concentradores de discos parabólicos empregados na geração de

eletricidade, através de estações de conversão de eletricidade que utiliza fluido de transferência térmica, tem a necessidade de fazer circular o fluido térmico pelo circuito de geração de eletricidade, acrescentado custo em bombas, tubulações, isolantes térmicos, etc. Acrescentadas perdas de calor e custo tornam estes sistemas menos utilizados, apesar de altas temperaturas serem alcançadas, acima dos 1500 °C.

3.6.2.4. Campo de coletores heliostatos

Para se alcançar altas concentrações de radiação solar, uma multiplicidade de espelhos planos, ou heliostatos, usando mecanismo de rastreamento tipo Altazimuth, são utilizados. Os heliostatos são compostos por pequenos espelhos levemente côncavos. Esses espelhos são usados para refletir a radiação solar em único alvo como indica a Figura 23.

Elevadas quantidades de energia térmica pode ser fornecida ao fluido de transferência térmica. Essa tecnologia normalmente é empregada em sistemas de geração de vapor devido as altas temperaturas alcançadas pelo fluido térmico.

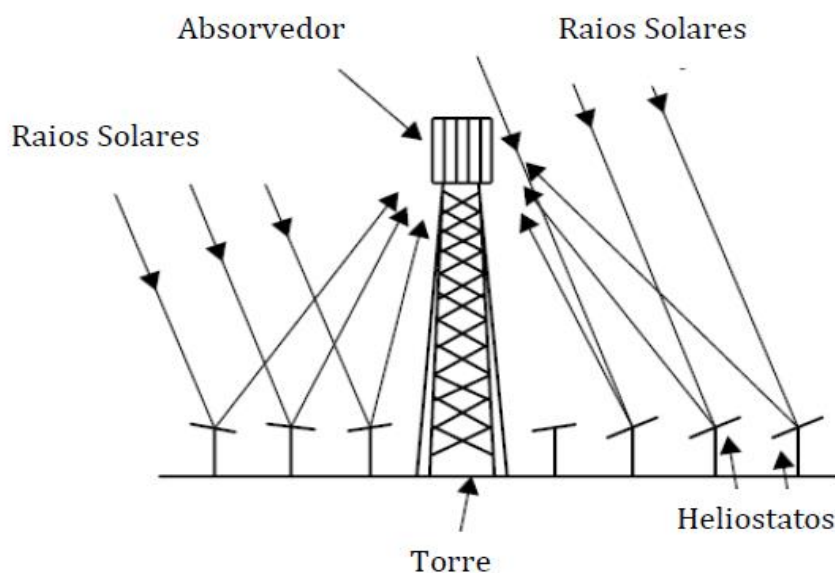


Figura 23 - Campo de heliostatos
Fonte: Kalogirou S. (2004), Solar thermal collectors and applications, Elsevier.

A energia absorvida é transferida para o fluido térmico que, por sua vez, pode ser armazenado ou usado diretamente, devido a alta temperatura e pressão que é entregue.

Campos de helióstatos apresentam algumas vantagens entre eles:

- ✓ A alta eficiência ótica dos helióstatos e o fato de a radiação solar ser concentrada em único ponto, minimiza os requisitos para o transporte de energia;
- ✓ Normalmente alcançam níveis de concentração de 300 a 1500, tornando esses sistemas altamente eficientes para aplicações onde se requer altas temperaturas;
- ✓ Convencionalmente é possível armazenar parte dessa energia;
- ✓ Normalmente sistemas de conversão de eletricidade desse tipo ultrapassam os 10 MW de potência efetiva, portanto, favorecendo uma economia de escala.

Para a produção de AQS é de referir que as tecnologias mais usadas são as de coletores estacionários, este devido as suas gamas de temperaturas e entre outras vantagens que estes apresentam, como foram descritos em cima.

4. ESTUDO DE UM COLETOR SOLAR PLANO

Neste capítulo, fala-se sobre os constituintes, rendimento, radiação absorvida e as perdas de calor num coletor plano. O coletor plano foi escolhido para o estudo, devidos as suas vantagens, como o caso de mais barato, simplicidade em montagem, etc.

Coletores solares com placa absorvedora plana podem ser projetadas para aplicações a temperatura moderadas da ordem de 100°C acima da temperatura ambiente. Tais coletores solares absorvem as componentes direta e difusa da radiação solar, sem necessidade de rastreamento do sol e requerem baixos níveis de manutenção. As aplicações potenciais destas unidades são em aquecimento solar de água residencial, aquecimento para edificações, ar condicionado e em processos de aquecimento industrial.

4.1. Descrição de coletores solares de placa plana:

De acordo com Duffie e Beckman (2013), as partes importantes de um coletor solar para aquecimento de líquido, como mostrado na figura 20 são: a superfície “negra” absorvedora de energia solar e que promove a transferência da energia absorvida para o fluido; cobertura transparente na faixa de comprimentos de onda da radiação solar incidente sobre a superfície absorvedora e opaca na região de emissão da placa absorvedora, reduzindo, assim, as perdas por convecção para a atmosfera e isolamento térmico nas laterais e na base do coletor solar, de modo a minimizar as perdas por condução.

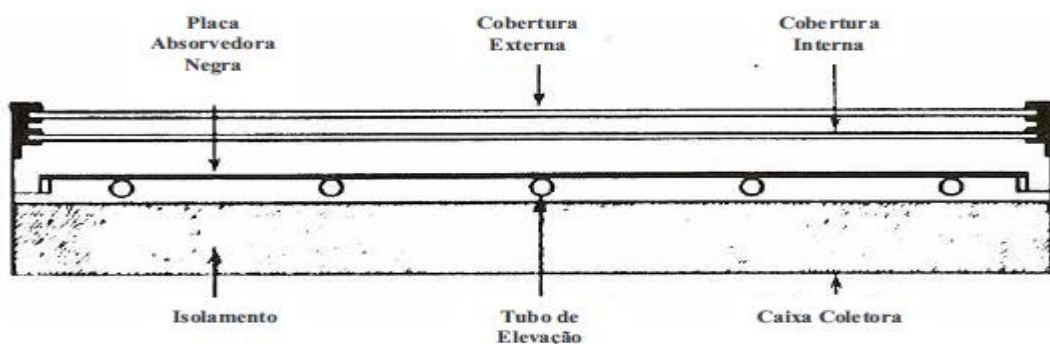


Figura 24 - Secção transversal de um coletor solar de placa plana básico.
Fonte: Duffie e Beckman, (2013).

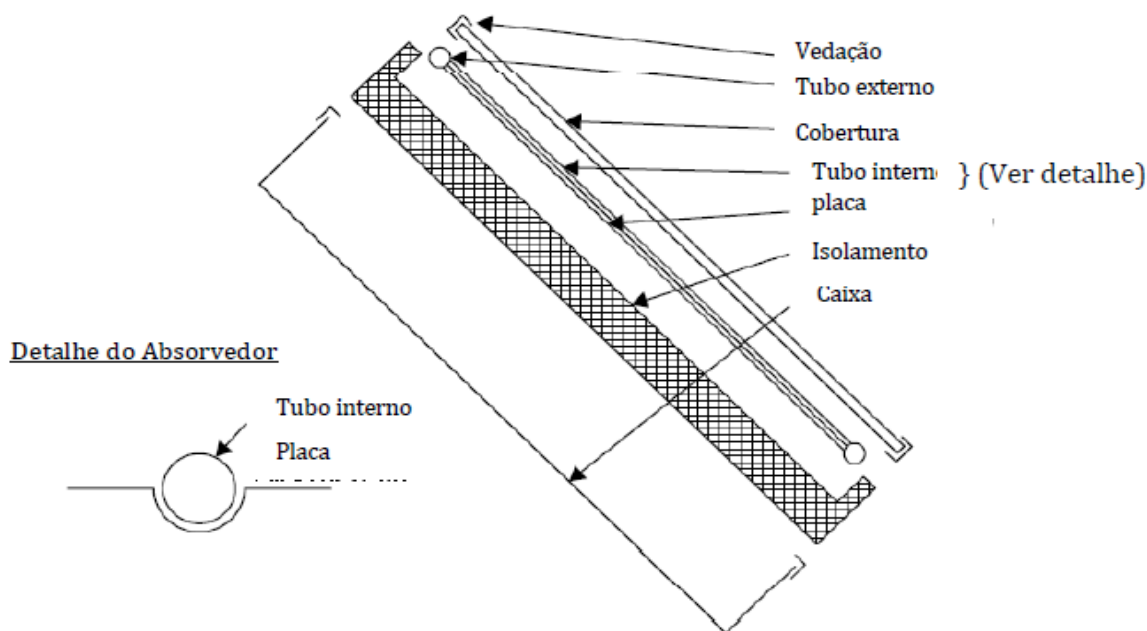


Figura 25 - Vista explodida de um coletor solar plano
Fonte: Kalogirou S. (2004), Solar thermal collectors and applications, Elsevier.

Os coletores planos têm como principais constituintes:

- **Cobertura** - uma ou mais folhas de vidros ou outro material de elevada transmitância é empregada para reduzir as perdas térmicas por condução, convecção e radiação.
- **Tubos internos** - conduzem ou direcionam o fluído térmico da entrada para saída do coletor.

- **Placa Absorvedora** - tem a função de absorver e transmitir a energia contida na radiação solar ao fluido térmico contida nos tubos ou passagens existentes na placa. A placa é normalmente revestida por um material caracterizado por uma elevada absorvência e baixa emitância.
- **Conduitas de maior diâmetro** - tubos responsáveis pela admissão e entrega do fluido térmico.
- **Isolamentos - são usados** para minimizar as perdas na parte inferior e laterais do coletor.
- **Caixa** - responsável por alojar os outros componentes e proteger do impacto ambiental.

Os coletores devem ser orientados diretamente para o equador, virado a sul no hemisfério norte e norte no sul. O ângulo de inclinação ideal do coletor é igual à latitude da localização, com variações de ângulo de 10 a 15 graus, mais ou menos dependendo da aplicação.

4.2. Análise térmica dos coletores planos

4.2.1. Radiação solar absorvida

Segundo Duffie e Beckman (2013), a estimativa da eficiência do coletor requer informação sobre a quantidade de energia absorvida pela placa do coletor. A radiação incidente sobre a superfície terrestre é dividida em três componentes: a direta, difusa e a refletida pelo solo.

Utilizando o método isotrópico, baseada na radiação horária e considerando o produto entre transmitância a absorvência a radiação absorvida pode ser descrita por:

$$S = I_b R_b (\tau\alpha)_b + I_d (\tau\alpha)_d \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + \rho_g (I_b + I_d) (\tau\alpha)_g \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right)$$

Equação 1: Radiação solar absorvida

Onde os termos $\left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right)$ e $\left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right)$ são fatores de observação a partir do céu para a porção da radiação difusa e refletida pelo solo respectivamente. A mesma equação pode ser utilizada para a estimativa mensal da quantidade média radiação absorvida por um coletor plano. Os subscritos b, d e g representam a radiação direta, difusa e radiação refletida respectivamente, R_b o fator de inclinação da radiação direta e ρ_g a refletância solo.

$$R_b = \frac{I_{bt}}{I_b}$$

Equação 2: Fator de inclinação da radiação direta

α - Absortância da tinta ou do tratamento seletivo

τ - Transmitância do vidro

ρ - Refletância do solo

A radiação solar absorvida pelo coletor solar por unidade de área do absorvedor (Q_u) é igual a diferença entre a radiação solar incidente na placa absorvedora e as perdas óticas definida pela equação abaixo:

$$Q_u = A_c [S - U_L (T_{pm} - T_a)]$$

Equação 3: Radiação solar absorvida simplificada

A energia térmica perdida para a vizinhança, a partir do coletor solar de área A_c , ocorre por condução, convecção e radiação infravermelha, sendo representada pelo produto do coeficiente global de transferência de calor (U_L), pela diferença entre a temperatura principal da placa absorvedora (T_{pm}) e a temperatura ambiente (T_a).

A maior restrição do uso da equação 3 é que a temperatura da placa absorvedora varia para cada posição -x da calha coletora e posição -y ao longo de cada tubo de elevação da água. Seu valor é, também, função do projeto do coletor, da radiação solar incidente e das condições operacionais do fluido à entrada do coletor solar.

A eficiência térmica (η) do coletor solar é definida como a relação do ganho útil sobre um período de tempo específico em relação a energia solar incidente sobre o mesmo período de tempo:

$$\eta = \frac{Q_u}{I_T A_C}$$

Equação 4: Rendimento do coletor

Q_u - Energia útil por unidade de tempo [W/s];

I_T - Energia solar incidente [W/s]

A_C - Área coletora [m²]

4.2.2. Perdas térmicas

Segundo Duffie e Beckman (2013), quando uma certa quantidade de radiação solar impinge sobre a superfície do coletor, maior parte dessa energia é absorvida e transferida ao fluido de transferência térmica. Contudo, tal como qualquer sistema térmico, perdas térmicas para o ambiente são inevitáveis. A análise térmica de um coletor plano, com uma única cobertura em termos de transferência de calor por condução, convecção e radiação é ilustrada na Figura 11. Onde T_p consiste na temperatura da placa, T_b temperatura da parte inferior do coletor e S a radiação absorvida. Num modo simplificado, as várias perdas térmicas num conector plano pode ser combinado em uma única resistência R_L e portanto, as perdas podem ser descritas em relação a temperatura ambiente e da placa respetivamente, através da equação:

$$Q_L = \frac{(T_p - T_a)}{R_L} = U_L A_c (T_p - T_a)$$

Equação 5: Perdas térmicas

Onde:

U_L - coeficiente de perdas térmicas baseada na área do coletor A_c (W/m²-K)

T_p - temperatura da placa (°C)

O coeficiente de perdas térmicas para um coletor plano, depende da construção e das condições de operação do coletor. Ela considera as perdas na parte inferior do coletor, superior e pelas fronteiras, tal como:

$$U_L = U_t + U_b + U_e$$

Equação 6: Coeficiente de perdas térmicas

U_t - coeficiente de perdas térmicas na parte superior (W/m²-K)

U_b - coeficiente de perdas térmicas na parte posterior (W/m²-K)

U_e - coeficiente de perdas térmicas nas fronteiras (W/m²-K)

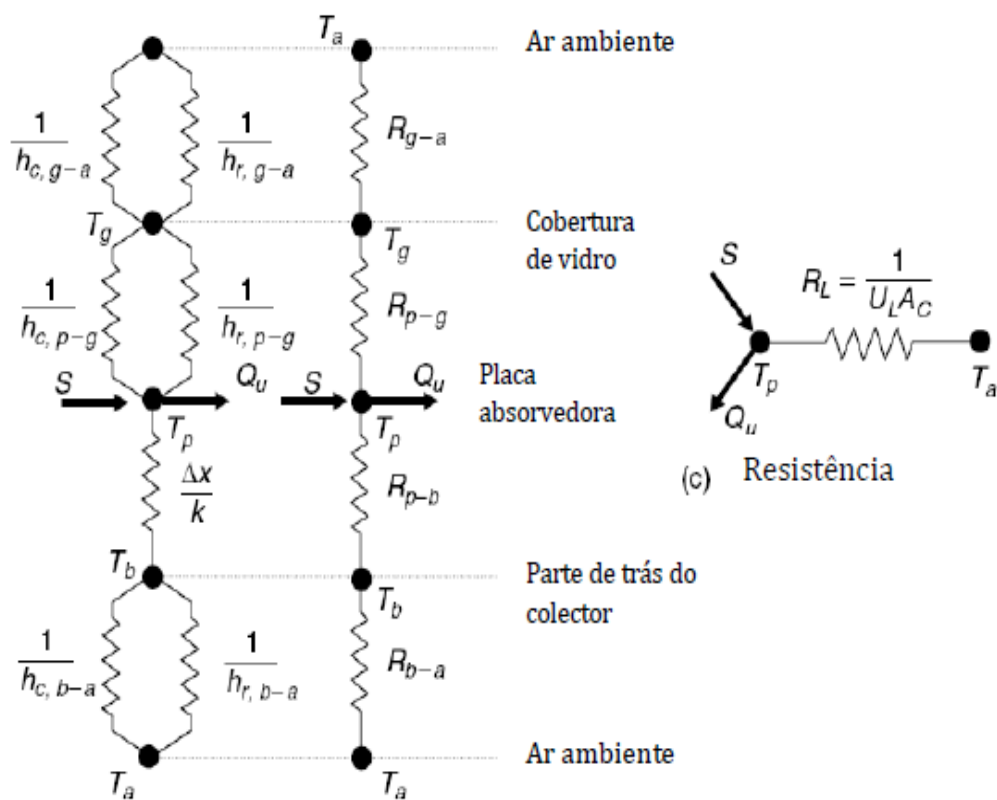


Figura 26 - Circuito de transferência de calor em um coletor plano (a) condução, convecção e radiação (b) resistência entre as placas (c) considerando uma única resistência.
Fonte: Adaptado do Duffie e Beckman, (2013).

5. POLÍTICAS E METAS PARA AS ENERGIAS RENOVÁVEIS EM CABO VERDE (SOLAR TÉRMICA).

Este capítulo é dedicado há um resumo das políticas e metas que o governo de Cabo Verde tem para alavancar o uso da energia solar térmica em Cabo Verde, visto que, o nosso país não tem recursos petrolíferos, então o governo traçou algumas metas a alcançar para um país mais autónomo. Assim juntando o útil ao agradável, com o uso de energias renováveis, o país ira ter uma maior economia e por conseguinte, está-se a proteger o ambiente dos gases de efeito estufa.

5.1. Política Energética em Cabo Verde

A visão do governo de Cabo Verde para o setor energético, expresso no documento plano nacional de ação para energias renováveis – Cabo Verde (2015), é “construir um setor energético seguro, eficiente, sustentável e sem dependência de combustível fóssil”.

Esta visão está assente em quatro pilares fundamentais:

- **Segurança Energética e redução da dependência das importações** – garantir redução da dependência das importações de energia e facilitar o acesso contínuo ao fornecimento de energia, não obstante as incertezas e imprevisibilidades do mercado mundial;
- **Aposta nas Energias Renováveis** – investir e adotar tecnologias de energias renováveis e alternativas, com a consequente redução da dependência da importação de combustíveis;
- **Sustentabilidade** – garantir a sustentabilidade do setor energético do ponto de vista ambiental, sociopolítico e económico;

- **Eficiência** – garantir um sistema de fornecimento, distribuição e consumo de energia adequado e eficiente em todo o país.

Para realizar esta visão, o governo adotou uma estratégia que tem como principais objetivos:

- ✓ O aumento da penetração da Energia Renovável e alternativa;
- ✓ A promoção da Conservação de Energia e da Eficiência do setor energético;
- ✓ A expansão da capacidade de produção de energia elétrica;
- ✓ A expansão da cobertura e garantia de acesso à energia;
- ✓ A melhoria do ambiente institucional e do quadro legal;
- ✓ A criação de um fundo de segurança energética;
- ✓ A promoção da investigação e adoção de novas tecnologias.

O documento de plano nacional de ação para energias renováveis, quantifica alguns objetivos, sendo um dos principais, o de cobrir 50% das necessidades em energia elétrica até 2020, através de fontes renováveis e de ter pelo menos uma ilha com 100% de energia renovável, também no horizonte 2020.

Na prossecução destes objetivos, foram identificadas as seguintes áreas prioritárias de ação:

- Reforço da capacidade Institucional;
- Política de preços;
- Reforço da Regulação;
- Reestruturação do Setor Energético (eletricidade e combustíveis);
- Adoção de novas Tecnologias;
- Política Fiscal.

A forte aposta nas energias renováveis é concretizada com a publicação do Decreto-Lei n.º 1/2011 de 3 de Janeiro que vem criar um regime de licenciamento e exercício de atividade específico e adaptado às energias renováveis. O decreto, para além

de enquadrar questões mais técnicas estabelece um quadro de incentivos ao investimento, incentivos fiscais e incentivos aduaneiros. Este também define tratamento especial para a micro-geração, tais como, isenção de estudo de impacto ambiental e benefícios fiscais.

5.2. Aplicações de energias renováveis no setor residencial

Aquecimento de água com energia solar térmica

De acordo com o plano nacional de ação para energias renováveis – Cabo Verde (2015), a estratégia prevê que a utilização de aquecedores solares passe a ser obrigatória em novos edifícios, sempre que haja previsão de necessidade de água quente sanitária, seja em residências familiares, seja em hotéis ou outras instalações, incluindo da indústria agroalimentar.

Atualmente a opção para aquecimento de água é maioritariamente por aquecedores elétricos com um custo elevado para empresas e famílias. Por isso, é expectável que a disponibilidade de equipamentos e profissionais qualificados permitirá a opção de instalação de aquecedores solares em edifícios existentes às famílias, empresas e hotéis que o desejarem. Não sendo obrigatório, não se quantifica o número de edifícios existentes beneficiados, mas para os novos edifícios a opção será obrigatório (Tabela 2).

Tecnologias de aquecimento solar de água para a água a produção de água quente sanitária e pré-aquecimento de água quente para processos industriais:	2010	2013	2020	2030
% de novas residências (habitações unifamiliares novas) com sistemas solares térmicos	ND	ND	100,0%	100,0%
Centros de saúde, maternidades, cantinas e internatos novos) com sistemas solares térmicos em % do total	ND	ND	100,0%	100,0%
Indústrias agroalimentares novas (pré-aquecimento de água) com sistemas solares térmicos em % do total	ND	ND	100,0%	100,0%
Hotéis (novos) com sistemas solares térmicos em % do total	ND	ND	100,0%	100,0%

Tabela 2 - Metas para aquecimento de água com energia solar térmica para 2020 e 2030

Fonte: Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis – Cabo Verde, 2015

6. TÉCNICAS DE DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA SOLAR TÉRMICO

Para dimensionar um sistema solar térmico deve ter em conta vários aspetos entre os quais radiação solar média do local de instalação, quantidade de água a ser aquecida, números de coletores a ser instalado, as temperaturas ambiente, temperatura de entrada da água da rede, a orientação e inclinação dos painéis de acordo com a latitude e azimute do local e a incidência de sombras.

Depois de ter todos esses dados podem optar-se para um dimensionamento do sistema a mão ou seja fazer os cálculos em papéis ou também pode ser feito através de um *software* para dimensionamento de sistemas solar térmicos.

De acordo com o Manual sobre tecnologias, projeto e instalação (2004), Para fazer um dimensionamento é necessários seguir alguns passos:

1º Passo: Determinação do consumo de água quente.

O consumo de água quente V_{aq} é a variável chave para o planeamento do sistema e, se não é possível avaliar o consumo, deve ser efetuada uma estimativa, o mais aproximada possível. Quando são determinadas as necessidades devem-se verificar as possibilidades de poupar água sanitária usada desnecessariamente (p.e. através do uso de acessórios de poupança de água). Baixos consumos de água significam sistemas de energia solar mais pequenos e logo um menor investimento.

Durante o planeamento de sistemas de energia solar térmica de grandes dimensões a determinação feita através de medições do consumo de água quente ou ter conhecimento do perfil dos utilizadores são significativos para um dimensionamento mais exato.

Dependendo do ajustamento para a habitação específica, os valores médios de consumo por pessoa por dia podem ser calculados (água quente aproximadamente 45°C) obtendo-se os seguintes valores:

- Consumo baixo: 20 – 30 l;
- Consumo médio: 30 – 50 l;
- Consumo elevado: 50 – 70 l.

Embora esses valores para um país como Cabo Verde em que a água pode ser considerada cara não será conveniente utilizar esses valores e sim valores mais baixos.

$$V_{aq} = N^{\circ} \text{ Pessoas} \times \text{Cons. diário/pessoas}$$

Equação 7: Consumo de água quente

V_{aq} - Consumo total de água quente.

$N^{\circ} \text{ Pessoas}$ - Numero de pessoas existente na edificação.

$\text{Cons. diário/pessoas}$ - Consumo diário por pessoa.

2º Passo: Cálculo da demanda de calor

O calor necessário Q_{aq} pode ser determinado através do consumo de água quente de acordo com a seguinte equação:

$$Q_{aq} = V_{aq} \times c_{H_2O} \times \Delta T$$

Equação 8: Demanda de calor

Q_{aq} - Demanda de calor.

c_{H_2O} - Calor específico da água.

ΔT - Variação da temperatura.

3º Passo: Cálculo da superfície do coletor

Para o cálculo da superfície do coletor pode-se calculá-lo através dos seguintes processos diferentes:

- Cálculo detalhado para cada componente;
- Projeto assistido por computador com programas de simulação.

Cálculo detalhado para cada componente

No caso dos métodos detalhados de dimensionamento do sistema solar os componentes são calculados com base nas condições gerais existentes.

Para definir a área dos coletores tem de se começar por estipular o calor demandado para aquecimento da água, a radiação solar disponível, a eficiência média do sistema e a fração solar desejada para o tipo de coletor.

$$\text{Sup. absor.} = \frac{Q_{aq} \times F_{sol}}{I_{col} \times \eta_{sis}}$$

Equação 9: Superfície absorvora

Q_{aq} - Calor demandado.

F_{sol} - Fração solar desejada.

I_{col} - Insolação na superfície do coletor.

η_{sis} - Eficiência média do sistema

Cálculo da dimensão do reservatório

Para o dimensionamento de um reservatório de água quente normalmente é aplicada uma taxa de segurança, ou seja é acrescentado 20% no consumo diário de água.

Dimensionamento assistido por computador com programas de simulação

Neste momento há uma disponibilidade de vários softwares para dimensionamento de sistemas solares térmicos entre os quais podemos encontrar o RETScreen, f-chart, Energizer, Solterm, T*SOL, etc.

Alguns programas de simulação são adequados para verificar os cálculos dos sistemas existentes ao permitirem a importação, por exemplo, de dados de medições de radiação solar e consumo. O programa que é mais adequado, para cada aplicação, pode ser estabelecido, de acordo com a classificação do programa, mas em última análise, é o próprio utilizador que escolhe.

As poupanças de tempo, dinheiro, determinação do rendimento, os cálculos de viabilidade económica e os detalhes da poupança nas emissões, mostram as vantagens dos sistemas solares e fornecem argumentos aos vendedores ao usar programas de simulação para dimensionamento e planeamento. E por isso cada dia há um uso crescente desses programas nos gabinetes de projeto.

7. CASO DE ESTUDO: INTERNATO DE PORTO NOVO

Este capítulo é dedicado ao dimensionamento que será feito, como caso de estudo no internato de Porto Novo, Santo Antão, em que será dimensionado um sistema solar térmico de acordo com as características e com o consumo do mesmo.

O dimensionamento será feito em três cenários diferentes, utilizando um *software* de nome RETScreen para o dimensionamento e para análise económica/financeira do projeto. No fim, com as análises dos resultados obtidos já feitos, será apresentado e analisado o melhor cenário para este fim.

7.1. Caracterização do IPN

O Internato de Porto Novo é uma residência estudantil, que está sob tutela da FICASE (Fundação Cabo-verdiana de Ação Social e Escolar). Contem quatro pisos, 28 (vinte e oito) quartos, 14 (catorze) no piso de rapazes e 14 também no piso das raparigas. O IPN fica situado em Chã de Itália, Porto Novo, Santo Antão.

O IPN começou a funcionar 21 de Outubro de 2001, que meses depois foi inaugurado por suas excelências o Primeiro-ministro do Grão-Ducado de Luxemburgo, Senhor Jean-Claude Juncker e o Primeiro-ministro de Cabo Verde, Senhor José Maria Neves, em 28 de Janeiro de 2002.

Excepto os dois pisos (rapazes e raparigas) o IPN tem ainda como compartimentos sala de estudos, biblioteca, sala de lazer, refeitório, cozinha, lavandarias, pátio para práticas desportivas, sala de informática e sala de estudos orientados.

Desta forma, sabe-se que tem uma demanda de água quente elevada, durante os períodos de aulas contínuo, ou seja, só não há consumo nas férias de verão e nas pausas

trimestrais e também, o consumo diminuirá nos fins-de-semana, em que alguns dos internos estão fora.

7.2. Aspectos técnicos

Produção de AQS (Água Quente Sanitária).

É de referir que o Internato de Porto Novo (IPN), nesse atual momento não possui nenhum sistema de aquecimento de água, portanto, o dimensionamento feito é em comparação com os aquecedores elétricos, ou seja, o dimensionamento foi feito a pensar no caso de o IPN vir a investir num sistema de aquecimento de água, eles já terão um estudo feito e é só escolher o melhor caso.

Aspectos técnicos a considerar

- Utilização de coletores planos;
- Temperatura do sistema dimensionado para 50 °C;
- Utilização de válvula misturadora para obtenção de uma temperatura de utilização de 38 °C;
- Circulação forçada através de bomba (circuito primário);
- Vaso de expansão;
- Sistema de apoio por resistência elétrica.

7.3. Dimensionamento com RETScreen

RETScreen (Clean Energy Project Analysis Software) é uma ferramenta de apoio à decisão de energia limpa destinado a analisar a viabilidade de projetos de eficiência energética, energias renováveis e de cogeração, assim como, analisar o desempenho

energético de forma contínua. Este *software* foi desenvolvido com a contribuição de diversos especialistas do governo, indústria e academia.

RETScreen permite aos profissionais e decisores identificar, avaliar e otimizar de forma rápida a viabilidade técnica e financeira de potenciais projetos em matéria de energia limpa. Esta plataforma de decisão inteligente permite também aos gerentes medir e verificar facilmente os desempenhos reais de suas instalações, e ainda encontrar possibilidades suplementares de economia e produção energética. O *software* fornecido gratuitamente, pode ser usado em todo o mundo para avaliar a produção energética, os custos, redução de emissões, poupança, a viabilidade financeira, risco para vários tipos de energias renováveis e tecnologias energeticamente eficientes. O *software* RETScreen está agora disponível em 35 idiomas, tornando-o acessível a dois terços da população do mundo, também inclui bancos de dados de clima, projeto, hidrologia produtos, um manual detalhado e um estudo de caso, baseado nos cursos de formação de nível universitário, incluindo um livro de engenheiro.

Esse *software* é uma ferramenta de Excel que serve para ajudar a calcular melhor a viabilidade do projeto energético, como, energia solar, térmica e fotovoltaica, energia eólica, entre outros tipos de energias renováveis.

Foram considerados três cenários para o dimensionamento e para a análise da viabilidade do projeto.

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Fração solar	50%	75%	85%
N. coletores solar	6	13	18
Área coletores, m²	12,87	25,51	35,48
Custo total, CVE	1.309.470	2.390.727	3.258.421

Tabela 3 - Indicação dos cenários
Fonte: Própria do autor

7.4. Resultados e Discussão

Resultados	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
N. coletores	6	13	18
Fração solar	50%	75%	85%
Área coletor, m ²	12,87	25,51	35,48
Custo total, CVE	1.309.470	2.390.727	3.258.421
Economia anual no ciclo de vida, CVE	90.319	107.861	77.206
VAL (20 anos), CVE	886.769	1.059.000	758.023
TIR do capital próprio (%)	21,1	16,8	13
TIR ativos (%)	10	7,3	4,7
Retorno simples (ano)	5,4	6,6	8
Retorno do capital próprio (ano)	6,5	7,8	9,8

Tabela 4 - Resultados dos cenários

Fonte: Própria do autor

Como pode-se verificar na Tabela 4, qualquer que seja o cenário ele trará benefícios em detrimento do uso dos aquecedores elétricos para o aquecimento de água sanitária para o Internato de Porto Novo, gerando uma economia para o IPN durante os vinte anos de vida do projeto que vai desde 758.023\$00 (cenário 3) até 1.059.000\$00 (cenário 2).

Ao aumentar a fração solar, aumenta também, o número de painéis e obviamente que aumentará o custo total do sistema, mas vale a pena verificar se com o aumento da fração solar trará mais-valia para o projeto, sendo que quando maior for a fração solar menor será o consumo de combustível fóssil.

O primeiro cenário é muito atrativo como mostra os indicadores económicos com melhor TIR (10%) e melhor período de retorno (6,5 anos), mas no final dos vinte anos o segundo cenário terá apresentado melhor ganho, com o VAL na ordem dos 1.059.000\$00, daí a opção como o melhor cenário é do segundo cenário já que no fim da vida do projeto ele irá ter gerado mais riqueza a IPN e também como é de esperar tem um maior contributo para a redução dos gases de efeito estufa que o primeiro cenário.

7.5. Apresentação do melhor cenário



Informação sobre o projeto [Veja banco de Dados do projeto](#)

Nome do Projeto	AQS para IPN
Localização do Projeto	Porto Novo, Santo Antão
Preparado para	Internato de Porto Novo
Preparado por	Helder Baptista
Tipo de projeto	Produção de calor
Tecnologia	Aquecedor solar de água
Tipo de análise	Método 2
Poder calorífico de referência	Poder Calorífico Inferior (PCI)
Ver parâmetros	<input checked="" type="checkbox"/>
Idioma	Português - Português
Manual do usuário	English - Anglais
Moeda	Cabo Verde
Unidades	Unidades métricas

Condições de Referência do site [Selecionar local de dados climáticos](#)

Localização dos dados climáticos	Ponta do Sol
----------------------------------	--------------

Figura 27 - Página inicial de RETScreen

Fonte: Própria do autor

Essa é a primeira página (iniciar) do RETScreen, onde será inserido os dados do projeto como o nome, localização, destinatário e autor, estes dados são inseridas na parte cinzenta da folha e eles não tem qualquer efeito nos cálculos. De seguida, temos as células, onde é escolhido o tipo de projeto de acordo com a necessidade do projetista.

Escolhido o tipo de projeto, o *software* vai apresentar várias tecnologias de produção, que será selecionado, dependendo da sua utilização. O *software* também

apresenta dois métodos de análise de projeto, em que o método 1, faz-se tudo em uma única página e a análise de custo e análise financeira não é tão pormenorizada como o método 2, que tem 5 folhas diferentes para cada análise. O poder calorífico de referência é escolhido de acordo com a localização da implementação do projeto, para EUA e Canada utiliza-se poder calorífico superior e para os restantes países, usa-se o poder calorífico inferior.

Para ver parâmetros, escolheu-se o idioma e a moeda em que o programa vai utilizar ao longo do projeto, sendo escolhido Cabo Verde na célula da moeda. Quando inserido qualquer custo ou crédito, vai aparecer automaticamente o CVE (Escudos Cabo-Verdianos).

A localização dos dados climáticos é feita através de uma hiperligação clicando em “selecionar local de dados climáticos”.

	Unidade	Localização dos dados climáticos	Localização do Projeto
Latitude	°N	17,2	17,2
Longitude	°E	-25,1	-25,1
Elevação	m	36	36
Temperatura para projeto de aquecimento	°C	18,1	
Temperatura para projeto de refrigeração	°C	25,5	
Amplitude da Temperatura do Solo	°C	2,2	

Mês	Temperatura do Ar	Humidade relativa	Radiação solar diária - horizontal	Pressão Atmosférica	Velocidade do Vento	Temperatura do Solo	Graus-dia para aquecimento	Refrigeração graus-dias
	°C	%	kWh/m²/d	kPa	m/s	°C	°C-d	°C-d
Janeiro	20,8	72,6%	4,96	101,6	7,6	22,7	0	336
Fevereiro	20,2	75,3%	5,77	101,6	6,8	22,1	0	286
Março	20,3	74,9%	6,64	101,5	6,2	22,1	0	320
Abril	20,7	73,8%	6,90	101,5	6,5	22,4	0	322
Maio	21,4	73,7%	7,07	101,5	6,3	22,9	0	354
Junho	22,2	75,2%	6,52	101,5	6,2	23,5	0	367
Julho	23,1	76,5%	6,22	101,4	5,1	24,3	0	405
Agosto	24,3	78,8%	6,15	101,4	5,0	25,6	0	443
Setembro	24,8	80,1%	6,11	101,3	5,6	26,3	0	444
Outubro	24,5	77,9%	5,56	101,4	5,9	26,2	0	451
Novembro	23,7	74,8%	5,00	101,5	5,8	25,5	0	410
Dezembro	22,2	73,3%	4,63	101,6	6,6	24,0	0	377
Anual	22,4	75,6%	5,96	101,5	6,1	24,0	0	4 514
Medido a	m				10,0	0,0		

Tabela 5 - Dados climáticos de Ponta do Sol
Fonte: Própria do autor

Esses dados que o *software* utiliza tem como fonte a NASA, são dados relativos a localização de Ponta do Sol, Santo Antão, Cabo Verde. Escolheu-se Ponta do Sol, porque o *software* não dá todas as localidades de um país, sendo assim escolheu-se a que fica mais próximo do destinatário do projeto ou então um local que tem características semelhantes.

Esses dados serão utilizados para o dimensionamento do sistema em que os mais importantes são a latitude do local e a radiação solar diária. Como pode-se ver na Tabela 5, a radiação média anual em um plano horizontal é de 5,96 KWh/m²/dia.

Na página modelo energético será inserido os dados técnicos como o de consumo, taxa de ocupação, inclinação, tipo de coletor, etc.

Projeto do Sistema de Aquecimento					
Tecnologia	Aquecedor solar de água				
Características da carga	<input type="radio"/> Piscina <input checked="" type="radio"/> Água quente				
Aplicação					
	Unidade	Caso de referência	Caso proposto		
Tipo de carga		Outro			
Número de unidades	-	112			
Taxa de ocupação	%	85%			
Uso diário de água quente - estimado	L/d	N/A			
Uso diário de água quente	L/d	1 478	1 478		
Temperatura	°C	50	50		
Dias de operação por semana	d	7	7		
<input checked="" type="checkbox"/> Percentual de utilização do mês	Mês				
	Janeiro	75%	75%		
	Fevereiro	100%	100%		
	Março	100%	100%		
	Abril	50%	50%		
	Maio	100%	100%		
	Junho	100%	100%		
	Julho	0%	0%		
	Agosto	0%	0%		
	Setembro	25%	25%		
	Outubro	100%	100%		
	Novembro	100%	100%		
	Dezembro	75%	75%		
Método de avaliação da temperatura de alimentação		Fórmula			
Temperatura da água - mínima	°C	21,6			
Temperatura da água - máxima	°C	23,2			
	Unidade	Caso de referência	Caso proposto	Economia de energia	Custo inicial incremental
Demanda de calor	MWh	11,9	11,9	0%	

Figura 28 - Perfil de consumo e utilização da AQS do IPN
Fonte: Própria do autor

Nos tipos de projetos de produção de calor com aquecedor solar de água temos dois tipos de aplicações possíveis (piscina e água quente), sendo para o este caso, a aplicação escolhida é a segunda - água quente. Escolhida a aplicação, a folha irá ter uma configuração própria.

Considerando que o IPN tem um consumo diário por pessoa de água quente igual a 15L/dia e com uma capacidade de 112 pessoas com uma taxa de ocupação de 85%, encontra-se o consumo diário do IPN, que será acrescentado mais 50L/dia que, é usado na cozinha, então o IPN tem um consumo de água quente diário de 1478L/dia.

De acordo com os dados climáticos anteriormente escolhidos o *software* apresenta a temperatura mínima e máxima ambiente da água, e para aquecer a água ate 50 °C tem-se uma demanda de calor de 11,9 MWh.

Avaliação de recursos		
Sistema de posicionamento solar		Fixo
Inclinação	°	25,0
Azimet	°	0,0
<input type="checkbox"/> Mostrar dado		
Aquecedor solar de água		
Tipo	Vitrificado	
Fabricante	Solahart Industries	
Modelo	Solahart J	
Área bruta por coletor solar	m²	1,98
Área de Captação por coletor solar	m²	1,87
Coefficiente Fr (tau alpha)		0,77
Coefficiente Fr UL	(W/m²)/°C	8,36
Coefficiente de Temperatura de Fr UL	(W/m²)/°C²	0,000
Número de coletores		13
Área do coletor solar	m²	25,51
Capacidade	kW	16,81
Perdas diversas	%	10,0%
Balanco do sistema e misc.		
Armazenamento		Sim
Capacidade de armazenamento / area do coletor solar	L/m²	75
Capacidade de armazenamento	L	1 801,3
Trocador de calor	sim/não	Não
Perdas diversas	%	15,0%
Potência da bomba / área do coletor solar	W/m²	5,00
Preço da eletricidade	CVE/kWh	33,000
Resumo		
Demanda de eletricidade - bomba	MWh	0,1
Calor fornecido	MWh	9,0
Fração solar	%	75%

Figura 29 - Dados técnicos de coletor solar térmico
Fonte: Própria do autor

Ainda na página de modelo energético, colocou-se o sistema de posicionamento solar em fixo com uma inclinação de 25 graus e o azimute de 0 graus. O tipo de coletor foi escolhido do banco de dados do *software* e escolheu-se o “Solarhart industries” modelo J, e o *software* apresenta todos os dados técnicos desse coletor. Escolhido o coletor o número de coletores irá variar com a fração solar, para um fração solar de 75% que é o melhor cenário, deve-se que utilizar 13 coletores com uma área de 25,51 m².

Como a produção de calor pelos coletores nem sempre coincide com a hora de utilização da água quente, então é necessário fazer o armazenamento da água que já foi aquecida, daí o dimensionamento do reservatório de armazenamento é importante. Para esse caso deve-se ter uma capacidade de armazenamento de 1801,3 L.

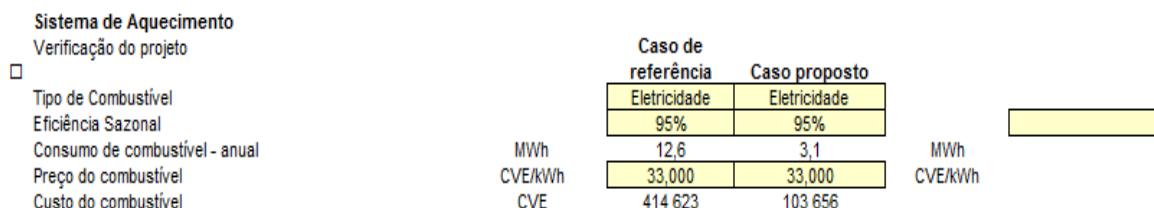


Figura 30 - Comparação entre coletores solares térmicos e aquecedor elétrico
Fonte: Própria do autor

Nesta figura foi capaz analisar os dois casos, a de referência que é como o IPN esta a funcionar atualmente e o proposto que é o caso que propõe-se a IPN a utilizar. Para o caso de referência do IPN neste momento eles não usam água quente, mas se quiserem futuramente instalar água quente terá que optar por um sistema, então fez-se esta comparação entre o uso da eletricidade ou o uso dos coletores solares térmicos.

Para o caso de referência, que usa uma resistência eletricidade com uma eficiência sazonal de 95%, com um consumo de 12,6 MWh/ano e com o custo da eletricidade de 33 CVE/KWh então terá uma despesa anual de 414.623 CVE. Para o caso proposto tem uma fração solar de 75%, então deve-se ir buscar os restantes 25% em outra fonte, que será a eletricidade com a mesma eficiência sazonal e com um consumo de 3,1 MWh/ano e com o

mesmo custo de eletricidade de 33 CVE/KWh tem uma despesa anual de 103.656 CVE. Feitas as contas poupamos por ano 310.967 CVE, de antemão pode-se dizer que o projeto é muito interessante.

7.6. Análise financeira do projeto

Conceitos base da avaliação financeira de projeto

A análise financeira de projetos de investimento pode ser feita por vários métodos, ficando assim a escolha de quem está a fazer o estudo, com tudo é sempre importante fazer mais do que um tipo de análise. O RETScreen, por sua vez, utiliza três métodos para analisar financeiramente o projeto.

De acordo com Pinto e Tavares (2012), a avaliação financeira de um projeto pode ser feito através de três principais métodos

- **Cash-Flows (Fluxo de caixa)** - a decisão quanto a realização ou não de um projeto de investimento passa necessariamente por uma tentativa de avaliação dos méritos que os mesmos podem ter. A avaliação desses méritos ou benefícios passa por previsões ao nível do potencial de geração de riqueza, ou seja, potencial de geração de recursos, geralmente financeiros. Tais recursos libertados são habitualmente designados como *cash-flows*.
- **Valor Atual Líquido - VAL** - trata do indicador mais utilizado, e universalmente mais aceito pelos autores sobre esta matéria. De fato, este indicador produz informação bastante rica, mensurado, em termos de unidades monetárias, o potencial de geração de riqueza (via *cash-flows*), uma vez remunerados os capitais próprios. Estes são remunerados ao custo de oportunidade do capital, o qual agrega a remuneração em aplicações sem risco, e o prémio de risco exigido pelo investidor para projetos idênticos, com um perfil de incerteza (risco) idêntico.
- **Taxa interna de rendibilidade - TIR** - a taxa interna de rendibilidade calcula-se utilizando o conceito que se traduz na taxa que iguala o VAL a zero. Em termos

mais precisos, corresponde à taxa máxima de remuneração do capital que o projeto suporta, sem perder potencial de geração de riqueza.

Avaliação financeira do projeto

Custos iniciais (créditos)	Unidade	Quantidade	Custo unitário	Quantidade	Custos relativos
Estudo de viabilidade					
Estudo de viabilidade	custo			CVE	-
Subtotal				CVE	- 0,0%
Desenvolvimento					
Desenvolvimento	custo			CVE	-
Subtotal				CVE	- 0,0%
Engenharia					
Engenharia	custo	1	CVE 250 000	CVE 250 000	
Subtotal				CVE 250 000	10,5%
Sistema de Aquecimento					
Aquecedor solar de água				CVE 2 040 727	
Definido pelo usuário	custo			CVE	-
				CVE	-
Subtotal				CVE 2 040 727	85,4%
Balanco do sistema e misc.					
Peças de reposição	%			CVE	-
Transporte	projeto	1	CVE 100 000	CVE 100 000	
Treinamento & Comissionamento	d-p			CVE	-
Definido pelo usuário	custo			CVE	-
Contingências	%		CVE 2 390 727	CVE	-
Juros durante a construção			CVE 2 390 727	CVE	-
Subtotal				CVE 100 000	4,2%
Entrar número de meses					
Total de custos de investimento				CVE 2 390 727	100,0%

Tabela 6 - Custos do sistema

Fonte: Própria do autor

Para uma análise financeira, primeiro deve-se saber os custos. O sistema tem como custo iniciais a engenharia que representa os custos da construção da estrutura de suporte, da parte de construção cível, das tubulações, etc., e esse custo representa 10,5% dos custos iniciais do sistema, o sistema de aquecimento solar de água representa 85,4% dos custos iniciais do sistema ou seja 2040727 CVE, e ainda tem-se um custo com o transporte dos equipamentos até o local de destino que é Porto Novo, e esse custo representa 4,2% dos custos iniciais.

Custos periódicos(créditos)	Unidade	Ano	Custo unitário	Quantidade
Substituição de equipamentos e manutenção	custo	5	CVE 100 000	CVE 100 000
				CVE -
Valor residual do projeto	custo			CVE -

Tabela 7 - Custos periódicos
Fonte: Própria do autor

A tabela acima representa os custos periódicos de substituição de equipamentos e manutenção, que sucederá cinco em cinco anos e tem um custo de 100.000 CVE, ou seja, sendo o projeto com 20 anos de vida então deve-se gastar 400.000 CVE ao longo da vida deste projeto devido aos custos periódicos.

Estabelecidos os custos deve-se agora estabelecer alguns parâmetros para conseguirmos fazer a análise financeira.

Parâmetros financeiros			
Geral			
Reajuste do custo do combustível	%		1,0%
Taxa de inflação	%		0,8%
Taxa de desconto	%		8,0%
Vida do projeto	ano		20
Financiamento			
Incentivos e subsídios	CVE		358 609
Razão da dívida	%		50,0%
Empréstimo	CVE		1 195 364
Capital próprio investido	CVE		1 195 364
Taxa de juros da dívida	%		8,00%
Duração da dívida	ano		6
Pagamento da dívida	CVE/an		258 576

Tabela 8 - Parâmetros financeiros
Fonte: Própria do autor

Para a análise financeira de um projeto é necessário levar em conta alguns parâmetros para uma maior aproximação da realidade porque caso contrário, ao realizar a avaliação financeira irá obter um resultado que não será verificado na prática. A vida do projeto é de 20 anos, o investidor entra com 50% do capital próprio e os outros 50% é

empréstimo bancário, com um taxa de juros da dívida de 8%, a dívida será liquidada em 6 anos. Como esses tipos de projetos são apoiados pelo governo então terá um incentivo do governo com 15% do custo inicial do projeto.

Depois de inserir todos os parâmetros demonstrados em cima o *software* apresenta os resultados:

Viabil. Financeira		
TIR antes impostos-capital próprio	%	16,8%
TIR antes impostos - ativos	%	7,3%
TIR após impostos - capital	%	16,8%
TIR após impostos - ativos	%	7,3%
Retorno simples	ano	6,6
Retorno do capital próprio	ano	7,8
Valor Presente Líquido (VPL)	CVE	1 059 000
Economia anual no ciclo de vida	CVE/an	107 861
Razão custo benefício (C-B)		1,89
Juros da dívida		0,85
Custo de Redução de GEE	CVE/CO2	(59 013)

Tabela 9 - Indicadores económicos

Fonte: Própria do autor

O projeto é muito bom, porque tem um TIR-capital próprio de 16,8%, que significa que o projeto é muito atraente. O VAL quando for maior que zero, o projeto é viável e o do caso de estudo deu um VAL igual 1.059.000 CVE. O projeto tem um retorno do capital próprio de 7 anos e 8 meses em uma vida de 20 anos, ou seja, a partir dos 8 anos o projeto começa a dar lucros.

O fluxo de caixa é apresentado pela seguinte tabela:

Fluxo de caixa anual			
Ano #	Antes imposto	Após imposto	Cumulativo
	CVE	CVE	
0	-836 755	-836 755	-836 755
1	51 763	51 763	-784 991
2	54 867	54 867	-730 125
3	58 001	58 001	-672 123
4	61 167	61 167	-610 956
5	-39 700	-39 700	-650 657
6	67 594	67 594	-583 063
7	329 431	329 431	-253 632
8	332 725	332 725	79 093
9	336 053	336 053	415 146
10	231 119	231 119	646 265
11	342 807	342 807	989 072
12	346 235	346 235	1 335 307
13	349 698	349 698	1 685 005
14	353 195	353 195	2 038 200
15	244 031	244 031	2 282 230
16	360 294	360 294	2 642 524
17	363 897	363 897	3 006 421
18	367 536	367 536	3 373 957
19	371 211	371 211	3 745 168
20	257 647	257 647	4 002 815

Tabela 10 - Fluxo de caixa
Fonte: Própria do autor

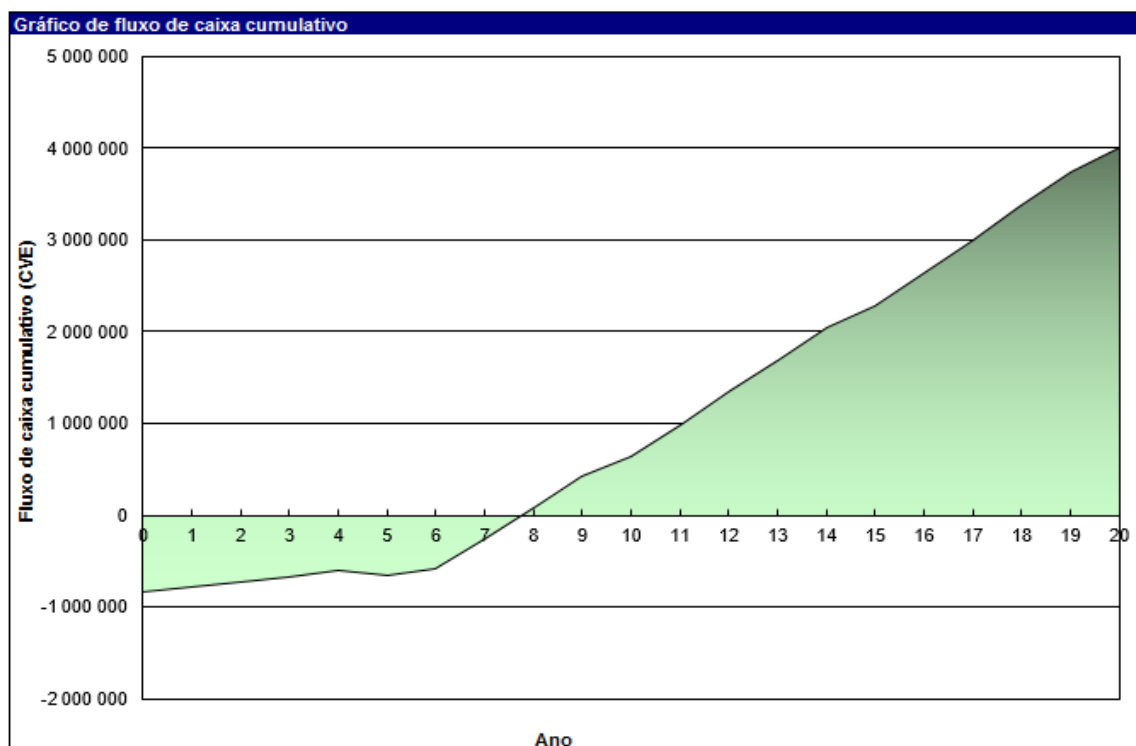


Gráfico 1: Fluxo de Caixa
Fonte: Própria do autor

O gráfico do fluxo de caixa mostra claramente o ganho ano após ano, mostra também o retorno do capital próprio que é de 7 anos e 8 meses e é perceptível o já mencionado acima custo periódico, como pode-se averiguar ao longo do gráfico, há alguns depressões em cada cinco anos, isto devido, ao custo que em cada cinco anos deve-se desembolsar para fazer a manutenção e substituição de alguns equipamentos.

CONCLUSÃO

Com a problemática em preservar o ambiente e também com a necessidade que se faz-se sentir em diminuir os gastos da eletricidade, este projeto tem como objetivo apresentar um dimensionamento de um sistema solar térmico, que utiliza os coletores planos, para o aquecimento da água sanitária no Internato de Porto Novo, em que foi realizado três cenários e escolhido o mais favorável de acordo com a avaliação económica que foi feito e também não menos importante o que trará maiores benefícios ambientais.

De acordo com o dimensionamento realizado, ficou bem perceptível que qualquer que seja o cenário, se o IPN interessar em instalar um sistema de aquecimento de água a melhor opção será a da implementação de um sistema solar térmico, que é economicamente e ambientalmente viável.

Como foi constatado, a melhor opção entre os cenários realizados foi a que contém 75% de fração solar, ou seja os restantes 25% é compensado pelo sistema de *back up*, isto porque, para qualquer dimensionamento de sistemas solares térmicos não se deve procurar atingir 100% de energia solar, mas ter sempre sistemas convencionais de apoio, instantâneos, de forma a termos um sistema mais eficiente e com maior retorno económico.

RECOMENDAÇÕES

Para trabalhos futuros recomendaria o dimensionamento de sistemas de aquecimento de água com sistema de *back up* de uma bomba de calor, que é uma tecnologia que vem ganhando grande importância nos sistemas de aquecimento de água devido a sua elevada eficiência, que é de 300%, apesar de ainda ser uma tecnologia extremamente cara.

Com a realização deste trabalho surgiu a vontade de estudar também uma questão muito importante nos sistemas de aquecimento de água que é a Hidráulica, para que posso contribuir ainda mais nessa matéria.

Futuramente gostaria de fazer uma ação de racionalização na utilização da água, que é um recurso escasso em nosso país. Apesar de não termos essa noção a substituição de equipamentos e a consciencialização das pessoas em poupar a água trará muitos benefícios económicos e ambientais para o nosso país.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ❖ Carvalho, L. *et al* (SD), **manual de instalações de sistemas solares térmicos**, Portugal, publindustria.
- ❖ Castro, R. (2012), **uma introdução as energias renováveis: eólica, fotovoltaica e mini-hídrica**, 2ª edição, Portugal, press.
- ❖ Comgás e Abrinstal-**manual técnico para projetos e construções de sistemas de aquecimento solar e gás natural**, [http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/manuais/Manual Tecnico para Projeto e Construcao de Sistemas de Aquecimento Solar e Gas Natural.pdf](http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/manuais/Manual_Tecnico_para_Projeto_e_Construcao_de_Sistemas_de_Aquecimento_Solar_e_Gas_Natural.pdf), 2018-01-10, 08:30
- ❖ Cruz, C. (2012), **Dessalinização da água do mar através da energia solar**, Dissertação de Mestrado, Universidade do Algarve.
- ❖ Cusa, J. (1999), **Energia solar para vivendas**, Portugal, Plátano.
- ❖ Duarte, P. (2012), **Coletores solares térmicos-análise de desempenho térmico de soluções tecnológicas no mercado**, Dissertação de Mestrado, Universidade do Porto.
- ❖ Duffie, J. e Beckman, W. (2013), **Solar Engineering of Thermal Processes**, 4ª edição, Wiley.
- ❖ Energia solar, disponível em: <https://pt.solar-energia.net/solar-termica>, consultada em 2018-02-20, 09:00
- ❖ Energia solar térmica-Manual sobre tecnologias, projeto e instalação, <http://www.marioloureiro.net/tecnica/energSolar/guia-tecnico-manual-solartermico.pdf>, 2017-12-13, 10:00
- ❖ Kalogirou, S. (2004), **Solar thermal collectors and applications**, Elsevier.
- ❖ Lebeña, E. e Costa, J., **Conversão térmica da energia solar**, [http://www.ingenieroambiental.com/2070/Manual Instaladores aquecimento central energia solar termica.pdf](http://www.ingenieroambiental.com/2070/Manual_Instaladores_aquecimento_central_energia_solar_termica.pdf), 2017-11-21, 12:00

- ❖ Mendes, J. *et al*, (2009), **Energias renováveis**, atelier Nunes e Pã.
- ❖ Miranda, M. (2008), **Optimização de sistemas solares térmicos**, Dissertação de Mestrado, Universidade do Porto.
- ❖ Moschik, R. e Barbosa, A. (2018), Utilização da energia solar térmica, Training course 2 for experts and professionals on solar thermal energy, São Vicente.
- ❖ Oliveira, A. e Almeida, S., (2003), **Energias renováveis: solar, eólica, ondas e marés, biomassa, hidroelétrica, geotérmica**, UTAD.
- ❖ Padre Himalaya, **Concurso solar-guia didático de energia solar**, <http://www.cienciaviva.pt/rede/himalaya/home/indice.asp>, 2018-02-09, 11:20
- ❖ Pereira, P. (2010), **Energia solar térmica-perspetiva do presente e do futuro**, Dissertação de Mestrado, Universidade do Porto.
- ❖ Pinto, C. e Tavares, S. (2012), **Análise financeira e mercados**, 2ª edição, Áreas editora.
- ❖ Plano de ação de Cabo Verde 50% renovável, http://gestoenergy.com/wp-content/uploads/2016/07/Cape_Verde_50_Renewable.pdf, 2017-11-14, 09:20
- ❖ Plano nacional de ação para as energias renováveis-Cabo Verde, <https://www.supplyfinder.com/downloads/pdfs/2592.pdf>, 2017-10-11, 08:30
- ❖ RETScreen, disponível em: <https://www.nrcan.gc.ca/energy/software-tools/7465>, consultada em 2018-03-15, 11:30
- ❖ Roriz, L. et al, (2010), **Energias solar em edifícios**, 1º Edição, Edições Orion.
- ❖ Sitiosolar, disponível em: <http://www.sitiosolar.com/historia-de-la-energia-solar-termica-parte-i/>, consultada em 2018-02-23, 10:30